



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

CLT-RAKENTEIDEN KEHITTÄMINEN PIENTALOTUOTANNOSSA

CLT-massiivipuuelementtien rakennusfysikaalinen toiminta ja liitokset
vaipparakenteessa

Työmaalla esivalmistettu pesuhuoneenbetonilaatta

TEKIJÄ: Teemu Niskanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Teemu Niskanen	
Työn nimi CLT-Rakenteiden tutkinta pientalossa	
Päiväys 4.5.2017	Sivumäärä/Liitteet 52+31
Ohjaaja(t) Teppo Houtsonen, pt. tuntiopettaja, Hannu Haaranen, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia amk	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Puurakentamisen suosio kasvaa uusien puuinnovaatioiden takia. Puurakentamista on vauhdittanut valtion tuki, sillä Suomen rakennusmääräykset ovat muuttuneet vuonna 2018 suotuisammaksi aiempaan verrattuna. Erilaiset tutkimusprojektit, yritysten innostuneisuus ja ekologinen näkökanta edistävät puurakentamisen kasvua Suomessa. Tämän työn tavoitteena oli kehittää CLT-massiivipuun käyttöä pientalon vaipparakenteissa. Työssä perehdyttiin CLT:n materiaali- ja rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa oli myös mukana työmaalla esivalmistetun betonilaatan kuivumisen arviointi. Betonilaatan arviointia on käsitellyt tekniikan tohtori Tarja Merikalion kehittämän laskukaavan mukaan.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuuden tiedot ovat peräisin valmistajilta, käyttäjiltä, oppikirjoista ja tutkimusraporteista. Rakennusfysiikkaa käsittelevä osio auttoi ymmärtämään materiaalien rakennusfysikaalisen käyttäytymisen merkityksen talon suunnittelussa. Työn viimeisessä osiossa on hyödynnetty teoretietoja rakennusinsinööriopiskelija Hannu Tuhkasen suunnittelemaalla esimerkkitalolla. Esimerkkitalon tarkoituksena on antaa tietoa muun muassa asetusten mukaisuudesta, liitoksista, kosteus- ja lämpötekisistä käyttäytymisistä. Esimerkkitalon seinä- ja alapohjarakennetta on mitoitettu Stora Enson Calculatis-ohjelmistolla sekä seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttämistä on simuloitu Wufi-ohjelmistolla.</p> <p>Rakennusinsinööriopiskelija Hannu Tuhkasen opinnäyte Massiivipuinen CLT-elementti pientalotuotannossa linkittyy tähän työhön. Se käsittelee CLT-massiivipuuta tuotannon ja työmaatekniikan kannalta. Tämän kehittämis- ja tutkimustyön tuloksena saatiin pientalorakentajille ja muillekin alasta kiinnostuneille tietoa CLT-rakentamisesta ja sen tulevaisuudesta. Monesta tietolähteistä koottu sisältö antaa puolueetonta näkökantaa asiaan.</p>	
Avainsanat: CLT, Rakennusfysiikka	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Teemu Niskanen			
Title of Thesis Development of Cross Laminated Timber in a Detached House			
Date	May 4, 2018	Pages/Appendices	52+31
Supervisor(s) Mr. Teppo Houtsonen, Lecturer and Mr Hannu Haaranen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to develop the use of cross laminated timber in the envelope of detached houses. The research also included simulating structural and physical properties of the CLT material. In addition, drying of a prefabricated concrete slab was also estimated by using a formula developed by PhD in Engineering Tarja Merikallio.</p> <p>Facts in the theoretical part of the thesis were gathered from manufacturers, consumers, in textbooks and research reports. The part which deals with structural physics helped to understand the meaning of structural physical behavior of materials in designing houses. The last part of the thesis discusses an example house that was designed based on the above-mentioned theory and gives information about compliance with regulations, joints, humidity and thermal performance among other things. Wall and base floor structures of the example house was designed with <i>Calculatis</i>-software developed by Stora Enso. Humidity and thermal performance of wall structures were simulated with <i>Wufi</i>-software.</p> <p>The thesis about CLT-element made of solid wood in production of detached houses written by construction engineering student Hannu Tuhkanen is linked to this thesis. It discusses CLT – solid wood from the point of view of production and site practice. The outcome of these development and research projects was information about CLT- construction and its future for detached house constructors and other parties interested in the field. Information was gathered from many sources which gives the thesis an independent point of view.</p>			
<p>Keywords cross laminated timber, structural physics</p>			

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Taustat ja Tavoitteet	6
1.2	Käytetyt merkit ja lyhenteet	6
2	CLT-LEVY	8
2.1	CLT-levy ja valmistus	8
2.1.1	Levyn valmistuksen käytettävät liimat	9
2.2	CLT-levyn tekniset ominaisuudet	10
2.2.1	Lujuus	10
2.2.2	Lämpöominaisuudet	10
2.2.3	Ilmanpitävyys	11
2.2.4	Kosteusominaisuudet	12
2.2.5	Äänimaailma	12
2.2.6	Palotekniset ominaisuudet	13
2.3	Visuaalisuus ja ekologisuus	15
2.3.1	Visuaalisuus	15
2.3.2	Ekologisuus	16
2.3.3	Tulevaisuus	16
3	RAKENNUSFYSIKKA TALON SUUNNITTELUSSA	17
3.1	Lämpö	17
3.1.1	Lämmön siirtymismuodot	17
3.1.2	Kylmäsiilat	17
3.2	Kosteus	17
3.2.1	Kosteuden siirtymismuodot	18
3.2.2	Kosteuden lähteet	20
3.2.3	Maaperänpisteus	20
3.2.4	Sisäilman kosteuslähteet	20
3.2.5	Rakennusaikainen kosteus	21
3.2.6	Suomen ilmasto ja ilmastomuutos	21
3.3	Puupintojen ulkoiset rasitteet	24
3.4	Puupintojen suojaus	25
3.5	Tuulettuvan alapohjan suunnittelu	27

3.5.1	Tuulettuvan alapohjan toimintaperiaate.....	27
3.5.2	Lapin ammattikorkeakoulun koetalon alapohja	28
4	ESIMERKKITALO	30
4.1	Asetusten mukaisuus	31
4.2	Alapohja.....	34
4.2.1	Alapohjan suunnittelua Stora Enson Calculatis-ohjelmistolla.....	35
4.2.2	Märkätilojen esivalmistettu betonilaatta	36
4.3	CLT-pientalon jäykistys.....	38
4.3.1	Yleistä	38
4.3.2	CLT jäykisteseinä	38
4.3.3	Mekaaniset liitokset.....	39
4.3.4	Seinän suunnittelua Stora Enson calculatis-suunnitteluohjelmistolla.....	39
4.4	Ulkoseinä	43
4.4.1	Wufi-simulaatiot ulkoseinästä.....	43
4.4.2	Pintakäsittely	43
4.5	Kattorakenne.....	43
4.6	Paloluokka.....	43
5	LIITOKSET JA KIINNIKKEET	44
6	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET	49
	LIITTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	54
	Liite 1. Wufi-simulaatio ulkoseinä.....	54
	Liite 2. Wufi-simulaatio sisä- ja ulkopintojen käytäytyminen	64
	Liite 3. Tapaus 3. Wufi-simulaatio CLT kokonaiskosteuden tasoittuminen	69
	Liite 4. Toimijoiden ja käyttäjien kokemuksia.....	71
	Liite 5. Stora Enso	74
	Liite 6. Hoisko	78
	Liite 7. CrossLam CLT	79
	Liite 8. Lappia CLT.....	81
	Liite 9. Puuinfo	83
	Liite 10. Liima, Purbond HB S109.....	84

1 JOHDANTO

1.1 Taustat ja Tavoitteet

Puurakentamisen suosio kasvaa uusien puuinnovaatioiden johdosta. Puurakentamista ovat vauhdittaneet valtion tuki, sillä Suomen rakennusmääräykset ovat muuttuneet vuonna 2018 suotuisammaksi aiempaan verrattuna. Puurakentamisen tutkimusprojektit, yritysten innostuneisuus ja ekologinen näkökanta edistävät puurakentamisen kasvua. Yllämainittujen asioiden vauhdittamana puukerrostalo hankkeita on käynnissä ennätysmäärä tällä hetkellä Suomessa. Puumateriaalien ja CLT:n tietous jatkaa kasvuaan käytön lisääntyessä suurissa kohteissa. Tämä tarkoittaa, että näistä saatua tietoa voidaan hyödyntää CLT-pientalotuotannossa.

Opinnäytetyössäni perehdyn CLT-massiivipuun käyttöön pientalon vaipparakenteissa. Opinnäytetyön idea lähti liikkeelle kiinnostuksestani puurakentamista ja nimenomaan CLT:tä kohtaan. Kiinnostustani ovat lisänneet puurakenteiden suunnittelukurssit ja puukerrostalo projekti. Opinnäytetyöni tarkoitus antaa tietoa CLT:n käytöstä pientalorakentajille. Käsittelen aihetta materiaali- ja rakennusfysiikan ominaisuuksien näkökulmasta. Myös rakennusinsinööriopiskelija Hannu Tuhkasen opinnäytetyö liittyy samaan aihealueeseen, mutta käsittelee aihetta tuotannon näkökulmasta. Työssä perehdytään CLT-massiivipuun työmaatekniikkaan ja kustannuksiin pientalon vaipparakenteissa (Massiivipuinen CLT-elementti Pientalotuotannossa). Opinnäytetyöni tavoite on saada vastaus CLT-massiivipuun soveltuvuudesta pientalotuotantoon.

Opinnäytetyössä kehitetään CLT-massiivipuun ratkaisuja pientalon vaipparakenteisiin. Aluksi työssäni perehdytään CLT-massiivipuun materiaaliominaisuuksiin ja materiaalin tulevaisuuden näkymiin. Sitteen kerron, miten rakennusfysiikka vaikuttaa pientalon suunnitteluun. Tämän jälkeen hyödynnän teoretietoja rakennusinsinööriopiskelija Hannu Tuhkasen suunnitteleman esimerkkitalon avulla. Tässä osiossa syvennytään esimerkkitalon määräysten mukaisuuteen, rakenteiden ja liitosdetaljien suunnitteluun. Lisäksi osiossa on esivalmistetun betonilaatan kuivumisajanarviointia pinnoitusvalmiiksi.

1.2 Käytetyt merkit ja lyhenteet

Adheesio

Kuvaa kahden materiaalin toisiinsa tarttumislujutta

ETA (European Technical Assessment)

Eurooppalainen tekninen arviointi. ETA voidaan myöntää rakennustuotteille, joille ei ole harmonisoitua tuotestandardia tai tuotestandardin testimenettelyt eivät sovi sille.

Kosteuskapasiteetti

Materiaalinkyky luovuttaa ja sitoa kosteussa.

Lujuusluokka C24, kuvaa puutavaran taivutuslujuutta 24 N/mm².

Lämmönjohtavuus (λ)

Ilmaisee lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi.

Lämmönläpäisykerroin, U-arvo [$W / (m^2 K)$]

Kuvaa lämpövirran tiheyttä jatkuvuustilassa, joka läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero on yksikön suuruinen.

Lämmönvastus, R (m^2K/W)

Kuvaa tasapaksun ja tasa-aineisen ainekerroksen eri puolilla, eri lämpötiloissa olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen.

Lämpökapasiteetti

Lämmönvaraamiskyky ilmaisee kykyä sitoa ja varastoida lämpöä. Kykyyn vaikuttaa aineen tiheys ja aineen ominaislämpökapasiteetti.

Rakennusfysikaalinen toiminta

Kosteuden-, lämmön-, ilman- ja äänen siirtyminen rakennuksessa ja rakenteissa fysiikanlakeja noudattaen.

RH (relative humidity)

Suhteellinen kosteus, ilmassa olevan kosteuden suhde kyllästyskosteuteen prosentteina.

Vaipparakenne

Rakennusosa, joka erottaa lämpimän, puolilämpimän-, jäähdytettävän tilan ulkoilmasta.

2 CLT-LEVY

2.1 CLT-levy ja valmistus

CLT (cross laminated Timber) on nimensä mukaisesti ristiin liimattu puu. CLT on lähtöisin Sveitsistä 1990-luvulta ja on yleistynyt nopeasti Keski-Euroopassa. Suomessa on myös käynnistetty CLT-tehtaita. (Siikanen 2016, 105.) CLT-levyjen äärimitat vaihtelevat valmistajakohtaisesti, mutta karkeasti seuraavanlaisesti: leveys 3,5 m, pituus 22 m ja paksuus jopa 400 mm (puuinfo.fi 2011; liitteet 5, 6, 7, 8 ja 9). Levyjen valmistamiseen vaikuttaa suuresti kuljetusmitat muun muassa korkeus ja leveys. Normaalkuljetusmitoista poikkeaminen tarkoittaa kustannusten nousua ja rajat tulevat vastaan myös silloissa ja ajokaistojen leveydessä. (Mylly 2016.)

Lujuusluokitellut laudat liimataan useaan kerrokseen ristiin toisiinsa nähden. Lautakerroksen paksuus voi vaihdella yleensä 20 - 50 mm: iin, mutta voi olla jopa 70 mm. Laudat voivat olla joko syrjä- ja lapeliimattuja tai pelkästään lapeliimattu toisiinsa. Ristiin liimaamisella vähennetään rakenteen muodonmuutoksia ja parannetaan levyn jäykkyyssominaisuuksia. Raaka-aineena käytetään yleensä kuusipuuta ja vähäisissä määrin mäntyä ja lehtikuusta. Valmiin levyn työstö tapahtuu cnc-työstölinjalla, jossa levyyn sahataan ja jyrsitään tarvittavat varaukset muun muassa ikkuna- ja oviaukot, liitoksien huullokset, sähkö- ja muut läpiviennit. Cnc-työstölinja käyttää tietomallista saatua cad-formaattitiedostoa hyväkseen (Puutavara jatkojalosteet RT 21-11289. 2017, 2).

Suunnittelussa nykyteknologia tarjoaa erilaisia mahdollisuuksia tuotannon optimoiseksi. CLT sopii moneen käyttötarkoitukseen ja mahdollistaa monipuolisen arkkitehtuurin käytön. (Helamo 2014.)

Tietotekniikan hyödyntäminen suunnittelussa:

- 3D-mallinnukset
- rakennesuunnittelu
- elementtisuunnittelu
- detaljit. (Helamo 2014.)

Rakennuksissa CLT-rakenteita voidaan käyttää

- suorissa ulkoseinissä
- väliseinissä
- päätykolmioissa
- ala-, väli-, ja yläpohjissa. (Helamo 2014.)

Valmiusasteeltaan on myös eri variaatioita:

- toinen tai molemmat pinnat hiottuja
- levyjen väliset liitosponttien työstöt
- liitosruuveille upotusreiät
- läpiviennit ja johtojen- ja rasioiden upotukset
- ikkuna- ja oviaukkojen työstöt valmiina. (Helamo 2014.)

2.1.1 Levyn valmistuksen käytettävät liimat

Tavallisimmin käytettyjä liimoja CLT:n valmistuksessa ovat formaldehydittömät liimat (Siikanen 2016, 105). Jatkuvassa liimasaumassa, kuten lamellien välisessä liimasaumassa liitoksen lujuus on oltava sama kuin heikoimman liitettävän osan leikkauslujuus (Puurakenteiden suunnitteluohje RIL 205-1-2017.) Liimaliitosten avulla puu saadaan haluttuun muotoon, estetään kosteuselämistä ja täytetään liitoksilta vaadittavat lujuus- ja kestävyysominaisuudet (Karttunen, Venäläinen, Lepistö, Partanen ja Dufva 2014, 38).

EN 1995:ssä (Eurokoodi 5) kerrotaan, että liiman täytyy säilyttää ominaisuutensa käyttöluokassa koko suunnittelukäyttöikänsä. EN 1995:n (Eurokoodi 5) mukaisissa Käyttöluokissa (1, 2 ja 3) otetaan huomioon muun muassa lujuus, ympäröivä kosteus ja lämpötila.

- 1-luokka: puurakenne lämmitetyissä sisätiloissa ja sitä vastaavissa olosuhteissa
- 2-luokka: kuivana oleva rakenne ulkoilmassa, joka on katetussa ja tuulettuvassa tilassa
- 3-luokka: ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai välittömässä veden läheisyydessä.

(Glued laminated timber Association 2014.)

Liimat määritellään ja luokitellaan kansainvälisesti hyväksyttyjen standardien mukaan. Rakenteellisten sahatavaran liimauksessa luokittelu määritetään liimatypille ominaisen standardin mukaan. Esimerkiksi Fenoli- ja aminoplastic-liimat testataan BS EN301 standardin mukaan.

- Tyyppi I liimat - sallitaan säärasitus ja voi esiintyä yli 50 °C:n lämpötiloja.
- Tyyppi II liimat - käytetään lämmitetyissä ja ilmanvaihdollisissa rakennuksissa.

2 ja 3 luokassa täytyy EN 1995:n mukaan käyttää I-tyypin liimaa ja 1 luokassa voi käyttää I tai II-tyypin liimaa. (Glued laminated timber Association 2014.)

Käyttövalmis liima tarvitsee liimahartsin, kovetteen ja liotinaineen ja tarvittaessa lisätään täyteaineita, jatkojalosteita ja hidastimia. Jatkojalosteista yleisin on tärkkelys, jota saadaan esimerkiksi ruis- ja vehnäjuhuista. Liimatypit jaotellaan ominaisuuksiensa mukaan muun muassa kovettumis- ja valmistustavan mukaan (puuproffa.fi).

Emulsiopolymeeri-isosyanaatti dispersioliimat (**EPI**) kestävät hyvin kosteutta, lämpöä ja tavallisimpia liuottimia. Niitä käytetään muun muassa massiivipuun liimauksessa ja liimalevyissä. Polyuretaaniliimat (**PUR**, 1- tai 2-komponenttinen) kestävät erittäin hyvin kosteutta. Niitä käytetään vaativissa rakenneliimauksissa, kuten liimapuun sormijatkoksissa ja lamellien liimauksissa. Yleisimmät kerta-muoviliimat syntyvät formaldehydin reaktiolla liimaraaka-aineen kanssa, meleemiiniureaformaldehydi (**MUF**) ja Fenoliresorsinoliformaldehydi (**PRF**). (Karttunen 2014.)

Formaldehydin käyttöä rajoitetaan, koska se on terveydelle haitallista. Formaldehydi on aldehydeihin kuuluva haihtuva orgaaninen yhdiste, ja se pistävän hajuinen ja väritön kaasu. Formaldehydiä on

käytetty lastulevyn liimassa (ureaformaldehydi). Pienetkin pitoisuudet formaldehydia voivat ärsyttää silmiä ja ylähengitysteitä (Hengitysliitto.fi).

2.2 CLT-levyn tekniset ominaisuudet

2.2.1 Lujuus

CLT-levyjen ristiin liimaus jakaa kuormat kahteen suuntaan. CLT-massiivipuun jäykistävänä rakenteena on hyvä, sillä perusrakenteissa ei tarvitse olla erillistä jäykistystä (Stora Enso 2017, 13). CLT:n paino $5,0 \text{ kN/m}^3$ ja lamellien lujuusluokka C24, joita käytetään laskennallisina mitoitusarvoina (Puuinfo 2011). CLT-elementtien valmistusta ja suunnittelua säädelään ETA-hyväksynnöillä (Puutavara jatkojalosteet RT 21-11289. 2017, 6).

2.2.2 Lämpöominaisuudet

Puu huokoisena materiaalina johtaa huonosti lämpöä, mutta se ei ole kuitenkaan niin hyvä eristeenä kuin varsinaiset lämmöneristeet. Betoniin verrattuna puun lämmönjohtavuus on $1/12$ eli paljon parempi lämmöneristävyys kuin betonilla (Siikanen 2016, 44). CLT:n lämpötekniset ominaisuudet ovat lähes yhdenmukaiset puun kanssa riippuen puun syiden suunnasta. Lamda-arvon määrittämisessä valmistajat antavat arvoja $0,11 - 0,13 \text{ [W/mK]}$. Tosin nämä arvot eivät todellisuudessa aina vastaa lamda-arvoa, koska olosuhteiden vaihteluilla on vaikutusta puun lamda-arvoon. CLT:n hyvän lämpökapasiteetin ansiosta massiivinen rakenne toimii lämpöpuskurina eli varastoi lämpöä itseensä ja luovuttaa lämpöä huonetilaan. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkolämpötilojen äkilliset vaihtelut eivät aiheuta samassa suhteessa muutoksia huonelämpötiloihin. Asumisviihtyvyyden lisäksi hyvä lämpökapasiteetti ominaisuus merkitsee säästöä energiataloudessa. (Pirttinen 2016, 12–13.)

Kuva 1. Lämmönjohtavuus (StoraEnso 2012, Building physics)

Thermal transmittance	U	$=$	$\frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$
Heat transmission resistance	R_{si}	$=$	$0,13 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$
	R_{se}	$=$	$0,04 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$
Thermal conductivity of CLT	λ_{CLT}	$=$	$0,11 \text{ W} / \text{mK}$

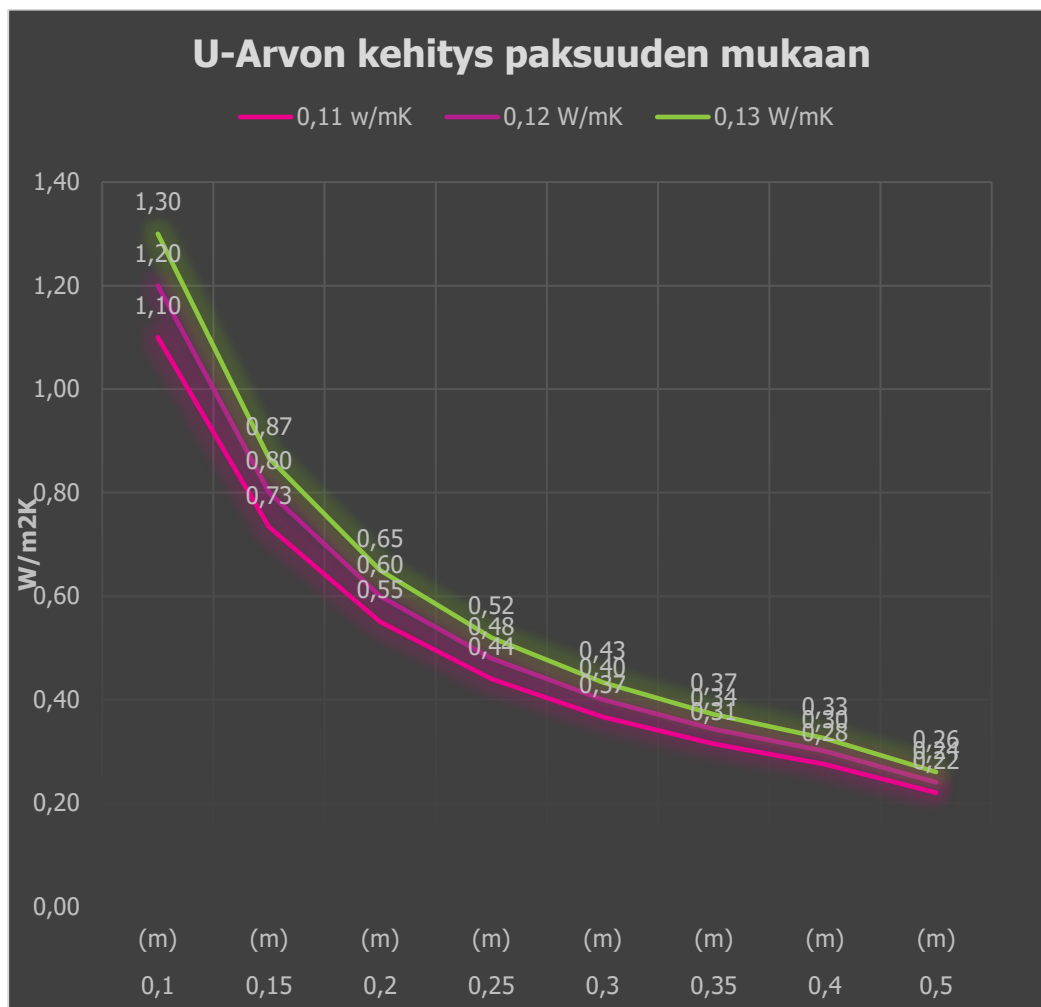
$$U_{CLT220\text{mm}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{W}} + \frac{0,22\text{m}}{0,11 \text{ W/mK}} + 0,04 \text{ m}^2 \text{ K}} = 0,461 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$U_{CLT260\text{mm}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{W}} + \frac{0,26\text{m}}{0,11 \text{ W/mK}} + 0,04 \text{ m}^2 \text{ K}} = 0,395 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$U_{CLT280\text{mm}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{W}} + \frac{0,3\text{m}}{0,11 \text{ W/mK}} + 0,04 \text{ m}^2 \text{ K}} = 0,368 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

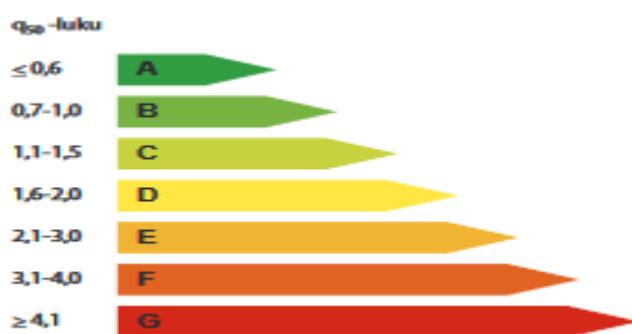
$$U_{CLT300\text{mm}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{W}} + \frac{0,3\text{m}}{0,11 \text{ W/mK}} + 0,04 \text{ m}^2 \text{ K}} = 0,345 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Ulkoseinän U-arvo laskuja. Kaavat kuvan 1. mukaan



Kuvio 1. CLT:n laskennassa käytettyjä lämmönläpäisykertoimia (Niskanen 2018)

2.2.3 Ilmanpitävyys



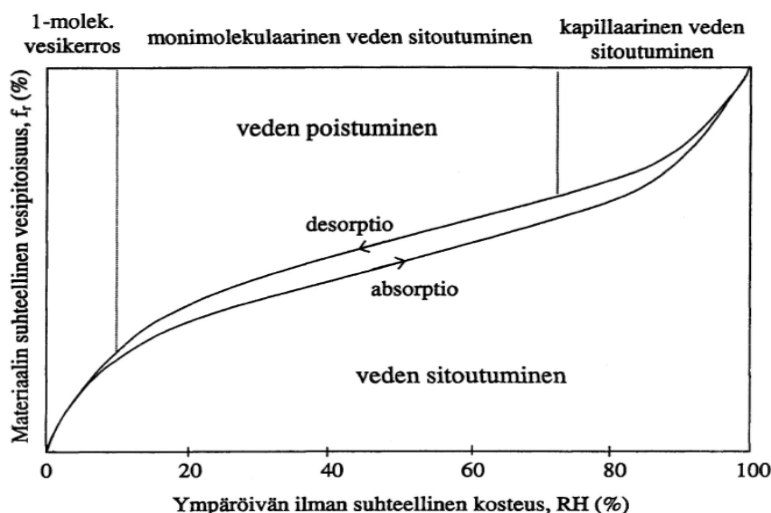
Kuvio 2. Tiiviysmittausluokitus (Lylykangas, Andersson, Kiuru, Nieminen, Päätaalo 2015, 75)

Stora Enson 3-kerroslevy puskusaumoin on testattu EN12114- standardin mukaan. Ilmavuoto oli niin pientä, että sitä ei pystytty mittaamaan. (Stora Enso 2015.) Vaipparakenteen yhtenäisyyden vuoksi kylmäsiltojen esiintyminen on hyvin vähäistä, joka kuvaa hyvin myös rakenteen hyvää ilmatiiveyttä. Lapin ammattikorkeakoulun koetalohankkeen tiiveysmittauksia 100 mm CLT:llä päästiin keskiarvoon (q₅₀) 1,0 eli tiiveys luokitus B. Tiiveysluokkien raja-arvot (Kuvio 2; Ahoranta 2016, 24).

2.2.4 Kosteusominaisuudet

CLT:n kosteusteknisen toiminnan kannalta tärkein tekijä on, että rakenne itsessään toimii höyrynsulku (Ahoranta 2016, 16). Puun hyvä kosteuskapasiteetti estää vesihöyryä kulkeutumasta ulkoseinän lävitse. Kosteuskapasiteetin ansiosta puulla on myös kosteusvaurioriskiä vähentävä vaikutus. Ulkoseinärakenteisiin voi sitoutua suuriakin määriä kosteutta, johtuen seinän suuresta kosteudentoutumiskyvystä. Näin ollen massiivisista rakenteista mitattavat kosteusarvot eivät kerro, että rakenteessa olisi automaattisesti kosteusvaurio. Rakenteen toimivuuden kannalta onkin tärkeää, että rakenteessa oleva ylimääräinen vesi haihtuu ennen kuin se vaurioittaa rakennetta (Ympäristöministeriö 2016, 156).

Puu hygroskooppisena materiaalina sitoo ja luovuttaa kosteutta (Kuvio 3). Massiivipuorakenteisen seinän pintakerros toimii suhteellisen kosteuden tasaajana huoneilmassa, joka parantaa asumisviihtyvyyttä. Puupinnan käsittely voi kuitenkin muodostua esteeksi puun hygroskooppisuudelle. Puupintojen käsittely ei saa muodostaa tiivistä kalvoa, vaan sen täytyy olla hyvin vesihöyryä läpäisevää. (Siikanen 2016, 166.) Massiivisenseinän sisäpinnan kosteus pysyykin tavallisissa olosuhteissa hygroskooppisella-alueella eli alle 75 % suhteellisesta kosteudesta, eikä näin ollen aiheuta mikrobien kasvuriskiä (Ympäristöministeriö 2016, 157).

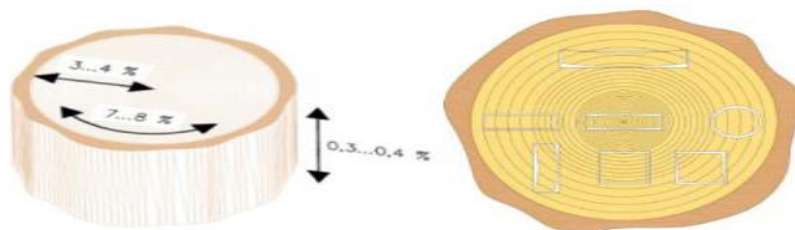


Kuvio 3. Tasapainokosteuskäyrän periaate (Dunkel 2016)

2.2.5 Äänimaailma

Puu yksinkertaisena rakenteena ei ole itsessään hyvä äänieriste keveytensä vuoksi. Kaksinkertaisilla rakenteilla päästään huomattavasti parempiin ääneneristysarvoihin puutalossa. Puurakenteisessa asuintalossa erityistä huomiota kannattaa kiinnittää mataliin ääniin (alle 100 Hz). Korkeita taajuuksia puurakenteet eristävät erinomaisesti, joita suurin osa äänistä onkin (puhe 50 Hz - 10000 Hz). Tämän vuoksi puurakentamisen äänimaailmaa pidetäänkin mieluisana ympäristönä. Ulkovaipan äänieristävyyteen ei ole Suomessa määräyksiä, mutta kaava voi tarvittaessa vaatia sen (Woodfocus 2004, 14).

Lapin ammattikorkeakoulun koetalossa on suoritettu äänitekniisiä mittauksia. Puun kosteuden muutokset vaikuttavat puun elämiseen aiheuttaen rakenteen sisällä jännitetiljoja, jotka purkautuvat terävinä paukahduksina. Kosteuselämisestä syntyvän muodonmuutoksen suuruus on riippuvainen laudan syysuunnasta. Kosteuseläminen on suurinta tangentiaalisesti 7–8 % ja vähäisintä puun suiden pituussuunnassa 0,3–0,4 % (Kuva 2; Pirttinen 2016, 28).



Kuva 2. Kosteuseläminen puun syysuunnassa (Pirttinen 2016, 28)

Mittauksia analysoidessa paukahdusmaisia ääniä todettiin kahta erilaista tyyppiä; laudan halkeaminen ja liimasauman ratkeaminen. Tutkimusraportissa todettiin paukemäärien olevan vähäisiä kosteina- ja lämpiminäkausina. Vastaavasti kuivat pakkasjaksot aiheuttivat piikin paukahteluissa. Elementin pinnalla kosteus- ja lämpöolosuhteet muuttuvat voimakkaimmin, jonka seurauksena myös paukahtelun äänet esiintyivät tyypillisimmin elementtien pinnoilla. Yhteenvedossa kerrotaan, että talon ollessa varsin uusi olosuhteiden tasoittuminen vie aikansa, että silläkin voisi olla osuutta paukahtelujen määrässä ja kovuudessa. Koetalon mittauksissa muuta huomioitava on, ettei talo ollut asuttu ja sisustettu. Sisustuksen tekstiilit ja huonekalut vaimentavat korkeita ääniä. Asukkaiden tuottamaa kosteuslisää simuloitiin ilmankostuttimilla. Tarkempaa vertailuanalyysiä tutkimuksesta ei voi tehdä, koska hirsitaloon verrannollista mittausanalyysiä ei ollut tutkimuksessa mukana (Pirttinen 2016, 27-48).

2.2.6 Palotekniset ominaisuudet

Puu on luokiteltu palavaksi materiaaliksi. Palonsyttymiseen tarvitaan happea ja lämpöä myös puun kosteuspitoisuus vaikuttaa siihen (Siikanen 2016, 183.) CLT-massiivipuun palonkesto on hyvä, koska hiiltymisen alkaa pinnasta. Pinnan hiiltymisen suojaa sisimpiä kerroksia, eikä näin ollen rakenteissa tapahdu äkillisiä romahtamisia (Stora Enso 2017, 12). Puun hiiltymisen alkaa suojaamattomassa massiivipuuraakenteessa palon alusta lähtien. Hiiltymisen etenee lineaarisesti koko palonkestoajan. Poikkileikkausta kasvattamalla saadaan palonkestoajan lisäystä (Puuinfo 2013, 1).

Palosuojatulla ja suojaamattomalla puulla arvot hieman poikkeavat toisistaan, koska suojaamattomassa puussa on otettu huomioon pyörästysten ja halkeamien vaikutukset. Eurokoodi 5:n mukaan suojaamattoman liimapuun (havupuu $\geq 290 \text{ kg/m}^3$) hiiltymisen on 0,7 mm/min luokkaa. Palorasituksen oltua yksidimensionaalinen eli hiiltymisen tapahtuu yhdeltä suunnalta, niin voidaan Eurokoodi 5:n mukaan käyttää kerrosliimatullepuulle ($\geq 290 \text{ kg/m}^3$) arvoa 0,65 mm/min (Siikanen 2016, 184).

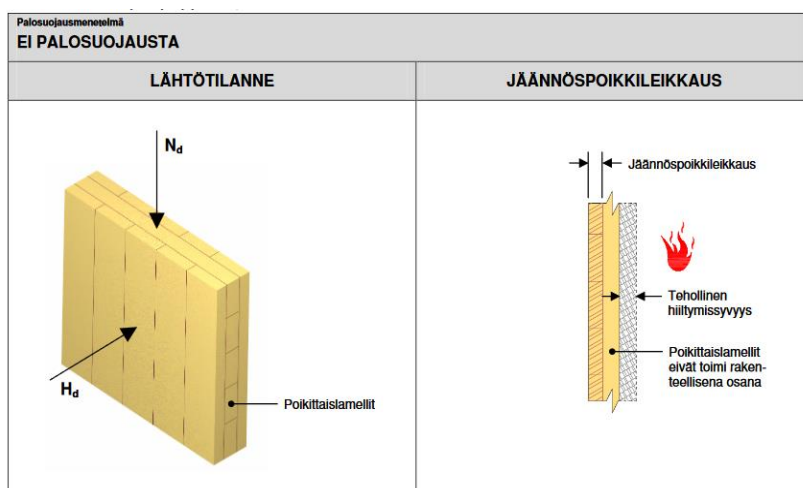
CLT:n paloteknisiä tietoja:

- Paloluokka yleisesti D-s2, d0 Komission päätös 2003/43/EC
- Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min EN 1995-1-2 standardin mukaan (puuinfo 2011).

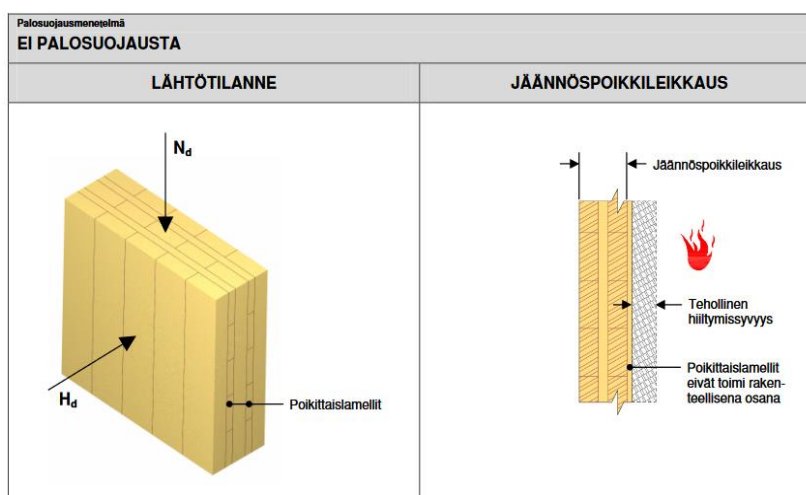
Merkinnät E1 mukaan:

- D, tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
- s2, savuntuotto vähäistä
- d0, palavia pisaroita tai osia ei esiinny (Siikanen 2016, 185).

Seinän palotilanteessa on huomioitavaa, että lamellien suunta vaikuttaa rakenteen stabiliteettiin. Vaakalamellit eivät toimi rakennuksen rakenteellisina osina, vaan ne kyllä voi suojata stabiliteetin kannalta tärkeitä osia (kuvat 3 & 4).



Kuva 3. Lamellien sijoittuminen palossa (Puuinfo 2013, 13)



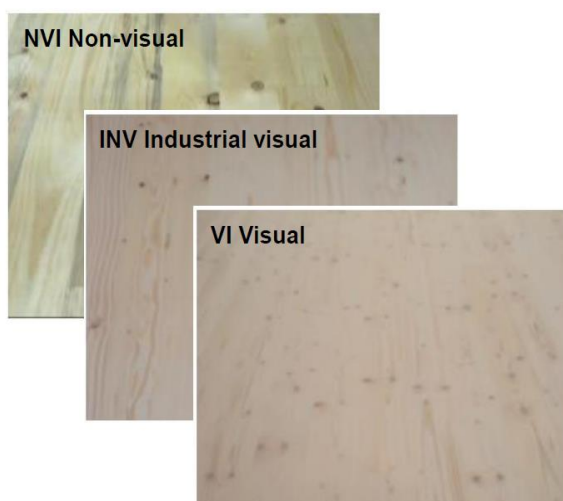
Kuva 4. Lamellien sijoittuminen palossa (Puuinfo 2013, 13)

2.3 Visuaalisuus ja ekologisuus

2.3.1 Visuaalisuus

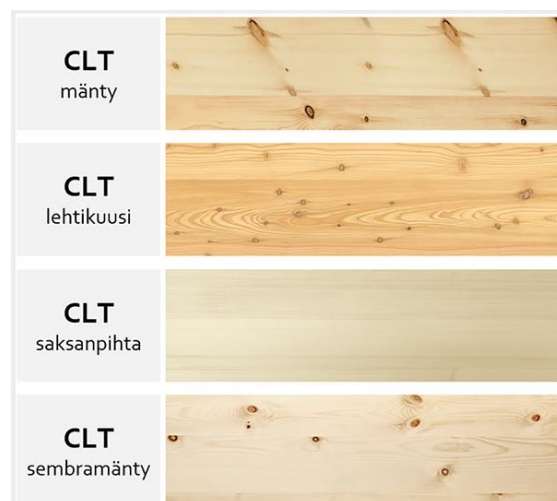
Stora Enson tuotevalikoimassa on kolme pintalaatuvaihtoehtoa: ei näkyvä, teollinen näkyvä ja näkyvä. CLT-levyssä voi olla kaikki lamellikerrokset ei näkyvää, ulommaisista pintalamelleista toinen puoli teollista laatua tai näkyvää laatua. Näkyvä laatu on parempaa kuin teollisesti näkyvä laatu. Laatuluokittelussa on huomioitu muun muassa pihkataskut, lamellin leveys, oksien laatu, kosteuspi-toisuus, liimasuman avoimuus ja sinistymät. Neljällä erikoispintalaaduilla ja pintakäsittely vaihtoehtoilla Storaenso tarjoaa asiakkailleen ulkonäöllisesti valinnanvaraa (Clt.info.fi; kuva 4, 5 & 6).

PINTALAADUT



Kuva 5. Pintalaadut (Clt.info.fi)

ERIKOISLAADUT



Kuva 6. Erikoislaadut (Clt.info.fi)

TEHDASPINNOITTEET

VI Visual



Sisäpinnan käsittelyt



Ulkopinnan käsittelyt



Kuva 7. Tehdaspinnoitteet (Clt.info.fi)

2.3.2 Ekologisuus

Metsät ovat uusiutuvaa luonnonvaraa ja Suomen metsävarat ovat kasvaneet useiden vuosikymmenten ajan kiihtyvällä tahdilla metsäalan pienenemisestä huolimatta. Puutuotannollisesti Suomen metsät kestävät 85 miljoonan kuutiometrin hakkuut lähivuosikymmeninä. Metsien kasvua ovat vauhdittaneet ilmastonmuutoksen aiheuttamat kasvukauden pidentyminen ja metsien hoitotoimet. Kasvilla metsillä on myönteisiä vaikutuksia ilmastonmuutosta vastaan, sillä metsät sitovat ilmakehän hiilidioksidia. Mahdollisia uhkia metsävaroille ovat ilmastonmuutoksesta aiheutuvat seuraukset kuten myrskytuhoriskien, hyönteistuhojen ja sienitautien lisääntyminen (Luke.fi).

Puurakenteet talossa toimivat pitkäaikaisina hiilivarastoina. Puuteollisuudessa kevyempien valmistusprosessien tuotteilla voitaisiin korvata useimpia materiaaleja joiden valmistaminen tuottaa enemmän hiilidioksidipäästöjä. Puu on ympäristöystävällinen valinta, koska puutuoteteollisuuden prosessit ovat useimmin kevyempiä. Teollisuudessa syntyy sivutuotteita purusta ja kuoretta, joita voidaan hyödyntää. Käyttöajan lopussa puutalo voidaan kierrättää tai käyttää polttaessa energiana (Puuinfo.fi).

2.3.3 Tulevaisuus

CLT-materiaali tulee yleistymään, kun alalle saadaan yhdenmukaisia standardeja ja toimintatapoja. Yksi merkittävimmistä jarruista CLT-rakentamisessa on ollut asiantuntijoiden puute ja vanhoihin toimintatapoihin juurtuminen. Puurakentamisen kehityksen kannalta olisi hyvä saada laadullisesti hyviä esimerkkirakennuksia, koska huonosti toteutetut puuhankkeet tahraavat alan mainetta. Rakennusalaalla on vahvoja vastarintaa tekeviä toimijoita, jotka vaikuttavat puurakentamisen yleistymiseen kielteisesti. (Nykänen, Häkkinen, Kiviniemi, Lahdenperä, Pulakka, Ruuska, Saari, Vares, Gronhjord, Heikkinen, Tulamo & Tidwell 2017.)

Suomen valtio on ajanut puurakentamista vauhdilla eteenpäin. Hallituskauden 2017–2019 yksi kärkihankkeista on puurakentamisen edistäminen, säädöksiä ja rakentamismääräyksiä purkaen. Hankeen tarkoituksena on luoda kilpailukykyisiä ja biotaloudellisesti kestäviä ratkaisuja maailman laajuisiin ongelmiin. Tämän taustalla on ajatus, että saataisiin lisää yrittäjyyttä, työpaikkoja ja vientiä (valtioneuvoston kanslia 2017, 49).

Leanwood-projektissa tehtiin kyselymuotoinen SWOT-analyysi Euroopan puurakentamisen tulevaisuudesta. Kyselyyn vastasi arkkitehtejä, tutkijoita ja teollisuuden toimijoita. Analyysin tarkoituksena oli kartoittaa, missä Euroopan puurakentamisessa mennään. Vahvuuksina toimijat pitivät poliittista tukea, hyvää raaka-aineiden saatavuutta, nopeaa ja kevyttä rakentamista, uusia markkinoita ja laaja-alaista puuteollisuutta. Heikkouksia toimijat kokivat puutteita hyvistä suunnittelijoista, määräyksistä, koetaan kalliimpana ja suurten yritysten muutosvastarinta. Mahdollisuuksista nousi esille biotalouden näkymät, puun käyttömahdollisuudet, ilmastopoliitikan myönteisyys ja virtaviivainen rakentaminen. Uhkina puolestaan toimijoiden mielestä ovat kiinnostusten puuttuminen, muut rakennusmateriaalit, määräykset, elinkaarikustannuksen palautumattomuus, taitojen ja kokemusten puute (Nykänen 2017, 36).

3 RAKENNUSFYSIIKKA TALON SUUNNITTELUSSA

3.1 Lämpö

3.1.1 Lämmön siirtymismuodot

Lämpöä siirtyy säteilemällä, johtumalla ja konvektiolla. Säteilemällä lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakennustekniikan kannalta merkitsevimmät ovat lyhytaaltainen auringon säteily ja pitkäaaltainen kappaleiden säteilemä lämpö. Johtumalla lämmön siirtyessä molekyylien liike-energia siirtyy molekyyleistä toisiin molekyyliin eli kyseessä on lämmön virtaus. Konvektiolla lämpö siirtyy nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Konvektio voi olla luonnollinen tai pakotettu. Esimerkiksi koneellinen ilmanvaihto on pakotettu konvektio (Siikanen 2016, 143).

3.1.2 Kylmäsillat

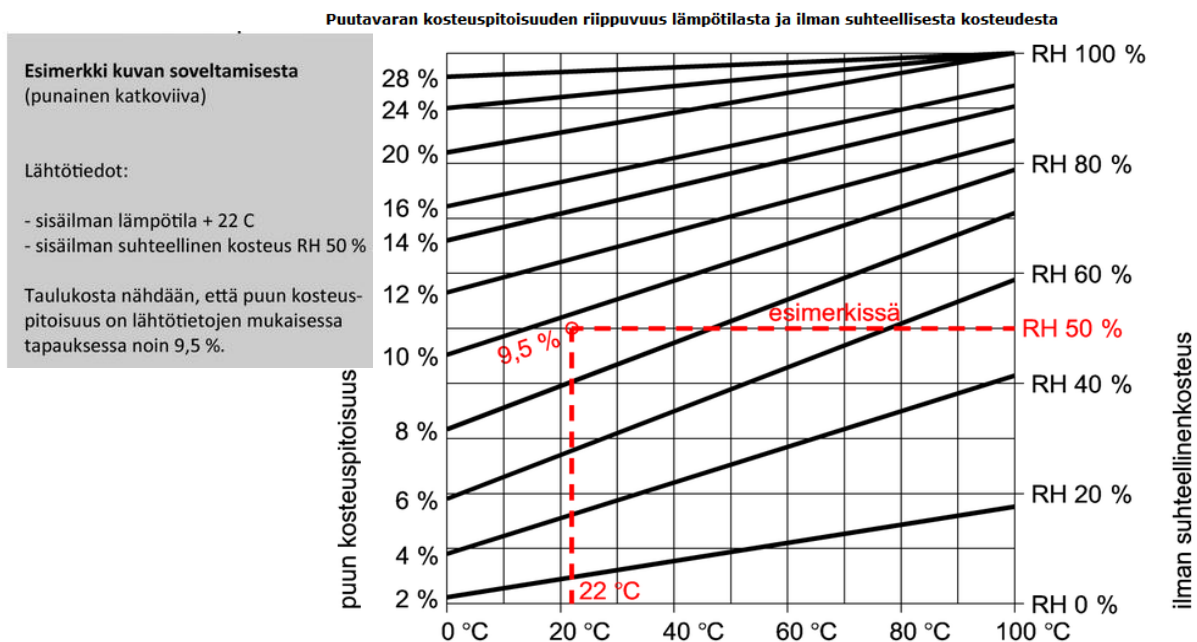
Kylmäsillat muodostuvat materiaalien epäjatkuvuuskohdissa, jotka eivät ole rakenteelle ominaisia lämpöhäviöitä. Kylmäsilloja esiintyy myös geometrisesti eli rakenteen muuttaessa muotoaan muun muassa nurkka- ja taitoskohdissa. Geometrisesti muodostuvat kylmäsillat voivat olla viivamaisia tai pistemäisiä. Kylmäsillat aiheuttavat rakenteisiin kosteusvirtoja, ja ne lisäävät lämpöenergian kulu- tusta. Hyvillä suunnitteluratkaisuilla voidaan estää haitallisten kylmäsillojen syntyminen (Lylykangas, Andersson, Kiuru, Nieminen, Päätaalo 2015, 58).

3.2 Kosteus

Melkein kaikki materiaalit reagoivat kosteuden kanssa, kuten metallin korroosio, betonin rapautumi- nen ja puun lahoaminen. Seurauksien vuoksi onkin erityisen tärkeä tuntee materiaalien kosteuskäyt- täytyminen, koska silloin voidaan turvata materiaalien lujuus- ja laatuominaisuuksien säilyminen suunnitellun käyttöön. (Dunkel 2016.)

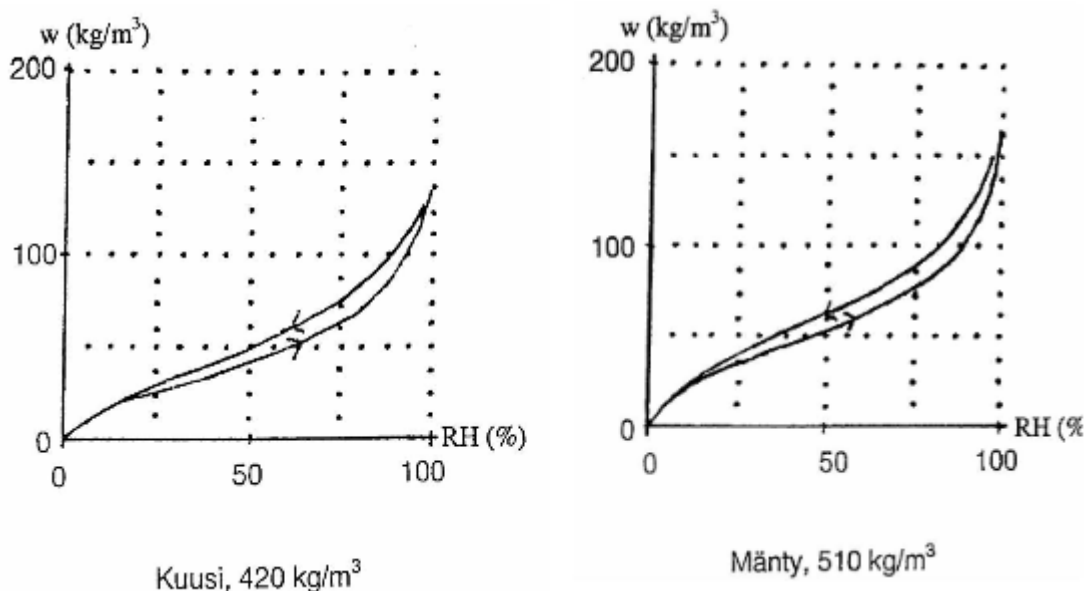
Tuore puu on käyttökelvotonta sellaisenaan rakentamiseen, koska kosteusprosentit ovat suuria. Ne vaihtelevat 90–200 % :n välillä. Kosteuden poistaminen tapahtuu erilaisilla teollisilla kuivausmenetel- millä. Puun kuivauksessa on tärkeä tuntee kuivausprosessin soveltuvuus kyseiseen käyttötarkoituk- seen. Käytössä puu asettuu 8–25 %:n tasapainokosteuteen riippuen ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta (Kuvio 2). Puun kuivuessa kosteuseläminen on suurinta puun tangentin suunnassa ja vähäisintä puun pituussuunnassa (Siikanen 2016, 43–49).

Elävän puun sydänpuu on huomattavasti pintapuuta kuivempaa. Männyn ja kuusen sydänpuun kui- vuuden syntymekanismit ovat erilaisia. Männyn sydänpuu koostuu erilaisista ainesosista, kuten hart- siaineista, polymeroituneista rasvahappoista, hartsihappoista, fenolisista yhdisteistä ym. joiden takia se on kuivempaa. Kuusen sydänpuun solukkorakenne eroaa männystä siten, että kuivuessaan soluk- korakenne sulkeutuu hyvin tiiviiksi. Sulkeutuneen solukkorakenteen ansiosta puu ei ime kosteutta läheskään yhtä paljon kuin pintapuuta (Kokko, Ojanen, Salovaara, Hukka, Viitanen 1999, 26).



Kuvio 4. Puutavaran kosteuspitoisuus (Puuinfo.fi)

Aineen ja sitä ympäröivän ilman välille muodostuu tasapaino. Tätä kutsutaan hygroskooppiseksi tasapainokosteudeksi. Puupohjaisilla materiaaleilla hygroskooppisuudenvaihtelu on suurinta. Puun tasapainokosteuteen ensisijaisesti vaikuttaa ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (kuvio 5). Lämpötila myös vaikuttaa jonkin verran, mutta absoluuttisella kosteudella ei ole juurikaan paljoa vaikutusta (oamk.fi 2004, 36).

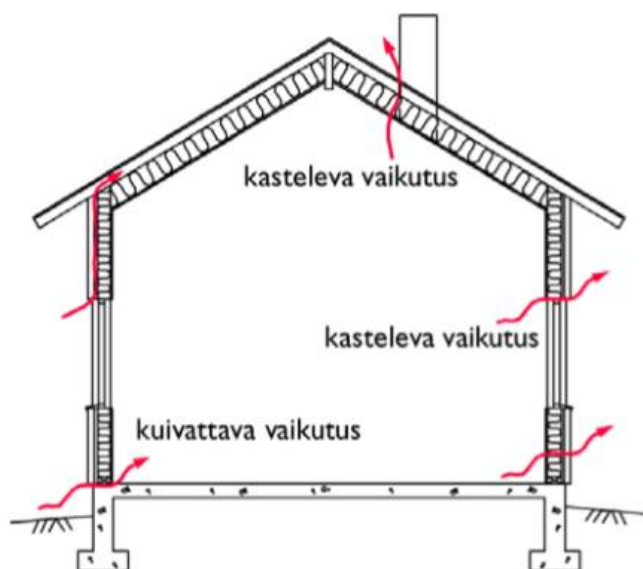


Kuvio 5. Puiden tasapainokäyriä (oamk.fi)

3.2.1 Kosteuden siirtymismuodot

Kosteutta siirtyy konvektiolla, diffuusiolla ja kapilaarilla. **Konvektio**, vesihöyry siirtyy ilmavirran mukana. Virtausten edellytyksenä on, että rakenteessa vallitsevat erisuuret kokonaispainesuhteet. Paine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot, ilmastointijärjestelmät ja puhaltimet. Ilman virratessa

kylmästä lämpimämpään päin ei kosteuden tiivistymistä tapahdu, kun taas lämpimästä ilmasta kylmään päin tiivistymistä voi tapahtua. Tulee myös muistaa, että kylmä ilma voi jäähdyttää metallisia pintoja, esimerkiksi ilmanvaihtoputket, joissa voi kosteuden tiivistymistä tapahtua. (Dunkel 2016). Vaipparakenteen ulko- ja sisäpuolilla vallitsevat erisuuruiset paineet, joita aiheuttavat tuuli, ilmanvaihto ja lämpötilaerot. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vaipparakenteen mahdollisiin riskikohtien suunnitteluun ja toteutukseen. Riskikohtia ovat muun muassa ikkuna-, ovi- ja elementtilitokset ja erilaiset läpiviennit. Vaipparakenteen tiiveydellä estetään sisäpuolen kosteudenvirtauksia rakenteeseen ja ulkoapäin estetään epäpuhtauksien virtaus huoneilmaan. Ilmavuodot lisäävät myös pientalon lämmitysenergian tarvetta 15–30 % (Lylykangas, Andersson, Kiuru, Nieminen, Päätaalo 2015, 73).

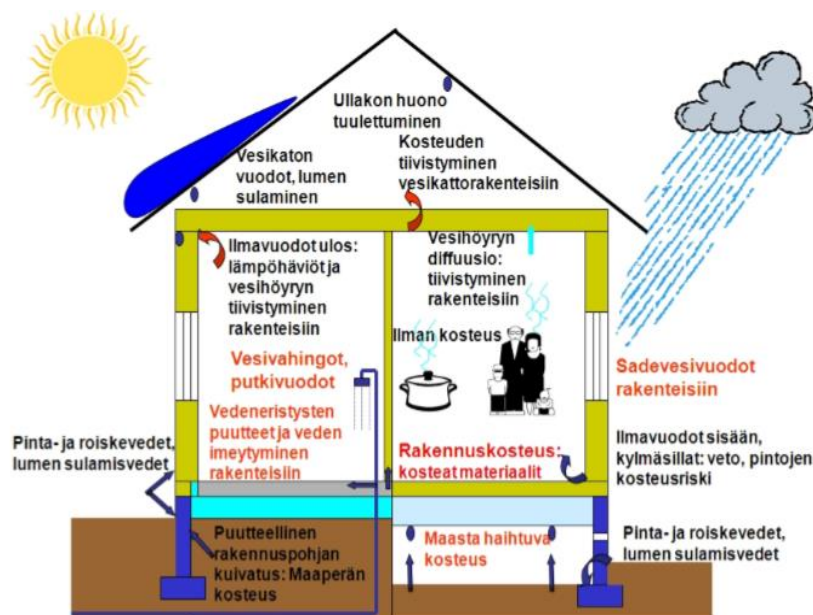


Kuva 8. Konvektion vaikutus rakenteeseen. Ilmavirrat voivat olla tietyissä tilanteissa toisinkin päin (Ympäristöministeriö 2016, 116).

Diffuusio, lämpötilaerot pyrkivät aina tasoittumaan suuremmasta osapaineesta pienempään osapaineeseen. (Dunkel 2016.) Eri materiaaleilla on ominaisvesihöyrynvastus (Z), joka vastustaa diffuusiota ominaisarvojen mukaisesti ja materiaalikerroksen paksuus myös vaikuttaa tähän vastukseen. Kuusen ja männyn vesihöyryn läpäisevyys (δ_p) $1...3 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$, Puun vesihöyrynvastus (Z_v) paksuus 100mm on $30...500 \cdot 10^3 \text{ s/m}$, mutta laskennallisesti hyvä arvo on $400 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Vastaavasti betonin vesihöyrynläpäisevyys (δ_p) $2...10$ vesihöyrynvastus 100mm vahvuksena on (Z_v) $30...1000$, mutta laskennassa käytetään yleensä $150 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. (Dunkel 2016.)

Kapilaarisesti kosteus siirtyy huokoiseen materiaaliin sen ollessa suorassa kosketuksessa veteen tai materiaalin, jonka huokosissa on vettä. Kapilaarisuus on suurempi huokosen ollessa pienempi, johtuen suuremmasta alipaineesta. Kapilaarisesti kosteus voi siirtyä vaaka- ja pystysuunnissa. Esimerkiksi sadeveden imeytyminen julkisivuun kapilaarisesti ja tätä tehostaa vielä tuulen aiheuttama paine. (Dunkel 2016.)

3.2.2 Kosteuden lähteet



Kuva 9. Kosteuden lähteet (Nieminen, Kouhia, Ojanen, Knuutti 2013, 23)

3.2.3 Maaperänkosteus

Maaperänkosteuden osalta rakenteellisissa laskelmissa on syytä käyttää arvoa RH100%, koska pohjaveden yläpuolella maassa vesi on ilman huokosissa vesihöyrynä. Rakennuksen suunnittelussa lisäksi on otettava huomioon vajo-, ja sadevesien vaikutukset. (Dunkel 2016.)

3.2.4 Sisäilman kosteuslähteet

- ulkoilman kosteus
- sisältä kehittynyt kosteus (Taulukko 1)
- ilmanvaihtuvuus, n (ilmanvaihto)
 - Ilmanvaihtuvuutta kuvataan ilmanvaihokertoimella $[1/h]$ eli kuinka monta kertaa huoneilma vaihtuu tunnin aikana.
 - Kaava on huoneesta poistunut ilmavirta tunnin aikana jaetaan huonetilan ilmailtavuudella.
 - Asuin- ja toimistotilojen suunnittelun ohjearvo ulkoilmavirralla mukaan on 6 l/s/hlö (Ympäristöministeriö 2016, 106-108).

Taulukko 1. Asumisesta aiheutuvat kosteudenlähteet (Ympäristöministeriö 2016, 108)

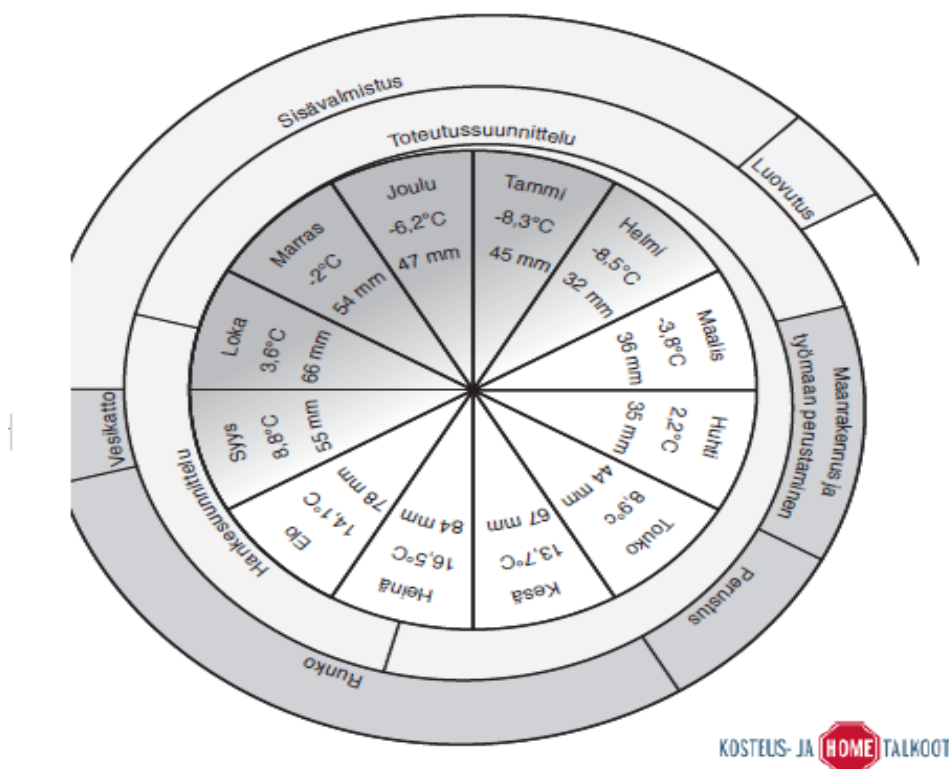
Kosteuslähde	Tuotto
Kylpy	700 g/h
Suihku	2 600 g/h
Keittiötoiminta	600–1 500 g/h
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit, pienet	7–15 g/h
Kasvit, keskikokoiset	10–20 g/h
Ihminen, lepo tai istumatyö	40–50 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus: lingottu pyykki	10–50 g/h /kg
vettä tippuva pyykki	20–100 g/h /kg

3.2.5 Rakennusaikainen kosteus

Rakennusaikaisen kosteuden estämiseksi laaditaan ennalta kosteudenhallintasuunnitelma. Suunnitelma otetaan huomioon:

- vuodenajan vaikutus
- rakenteiden riskialttius, kriittisimmät työvaiheet
- aikataulutetaan ja suunnitellaan työ ennakkoon
- suojausmenetelmät (rakennus ja materiaalit)
- kuivatus ja lämmitys.

(Rakennustyömaan sääsuojaus. Ratu S-1232. 2013.)

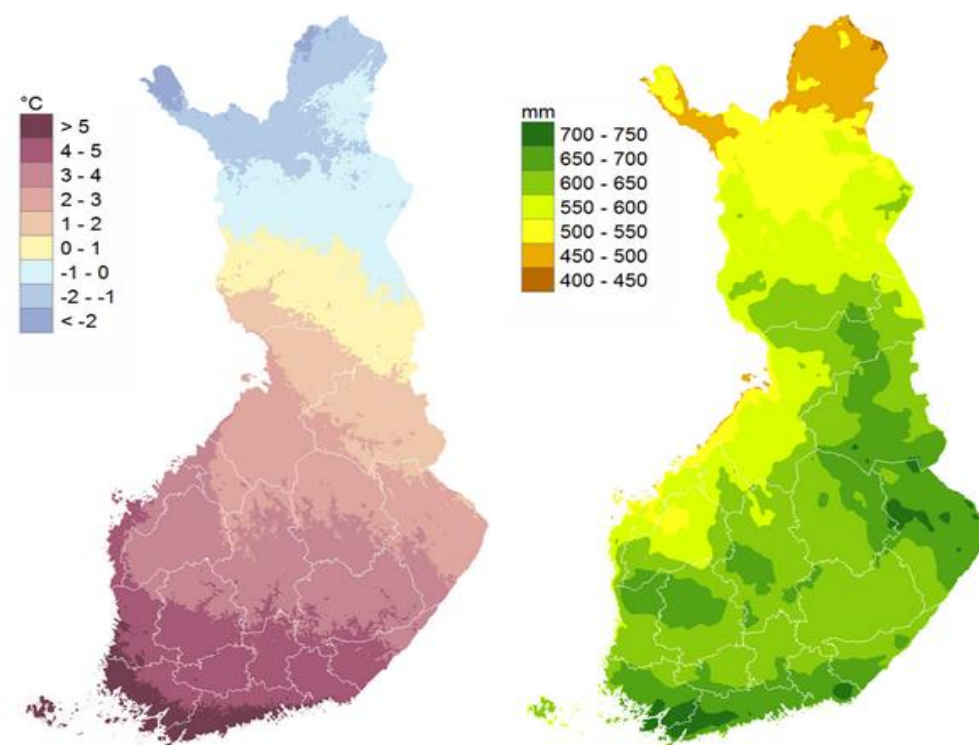


Kuvio 6. Rakentamisoluiden ajankohdat (Hometalkoot.fi)

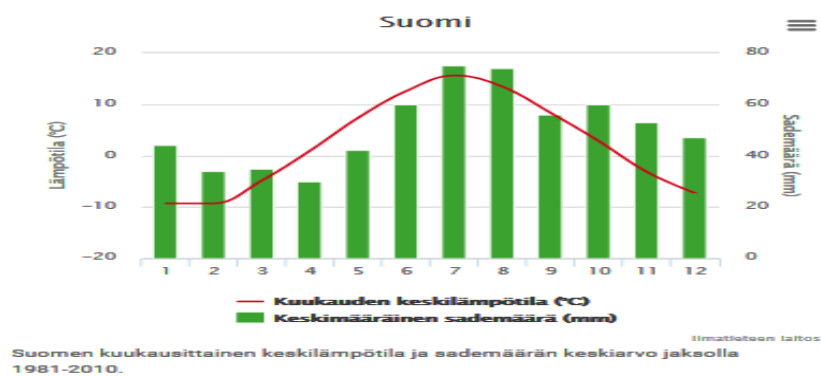
3.2.6 Suomen ilmasto ja ilmastomuutos

Talvella ilma sisältää hyvin vähän vesihöyryä. Kylmä ilma ei kuitenkaan pysty sitomaan paljoa kosteutta jonka vuoksi ilman suhteellinen kosteus pysyy hyvin korkeana (RH=80–90 %). Keväällä ilman suhteellinen kosteus Suomessa on pienimmillään (RH=40–50 %). Kesällä ilmassa on enemmän kosteutta kuin keväällä, mutta koska lämpimämpään ilmaan sopii enemmän kosteutta niin suhteellinen kosteus jää kuitenkin alemmaksi kuin talvella (RH=65–80%). Syksyllä kosteuspitoisuudet vuodenaikaan nähden ovat korkeimmillaan. Vuosissa on jonkin verran vaihtelua sadetilanteen ja lämpötilojen vaihtelujen osalta. (Dunkel 2016.) Suomi on pitkä maa, siihen mahtuu viisi ilmastovyöhykettä. Ilmastovyöhykkeiden jakoon vaikuttavat leveyspiirillinen sijainti ja sadekertymät. (ilmatieteenlaitos.fi; Kuva 10, kuvio 7, 8 ja 9)

Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981-2010

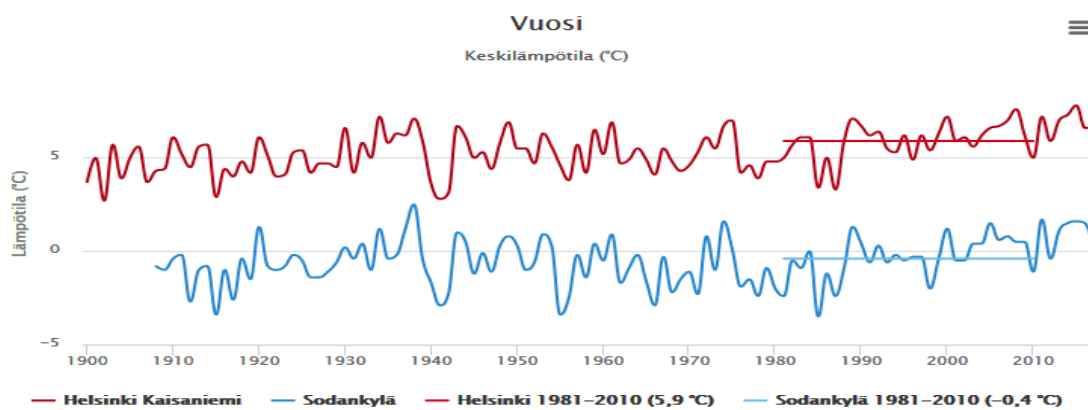


Kuva 10. Keskilämpötila ja sadekertymä (Ilmatieteenlaitos.fi)

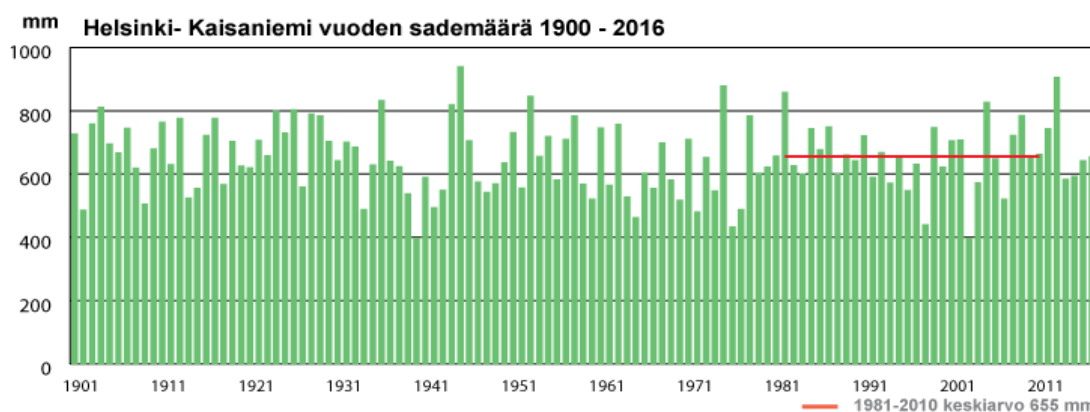


Kuvio 7. Keskilämpötila ja sadekertymä (Ilmatieteenlaitos.fi)

Vuosikeskilämpötilat Helsingissä ja Sodankylässä



Kuvio 8. Keskilämpötilat (Ilmatieteenlaitos.fi)

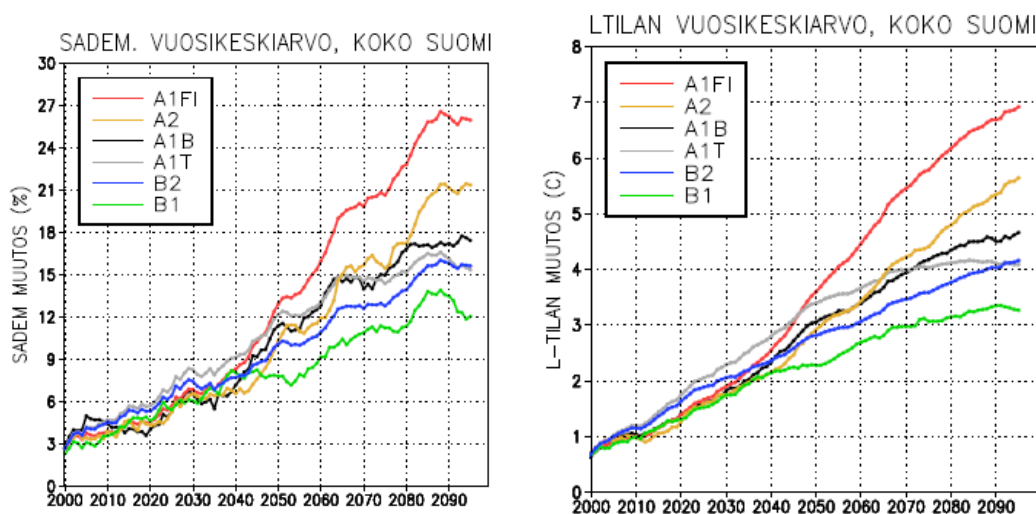


Kuvio 9. Sademäärät (Ilmatieteenlaitos.fi)

Ilmastomuutos

Esitettävät lämpötila- ja sademääräskenaariot perustuvat 19 maailmanlaajuiseen ilmastomalliin, jotka ovat laadittu kokeiden perusteella. Ilmastomuutoksen seurauksena Suomessa lämpötila nousee selkeästi ja sateet tulevat lisääntymään (kuvio 10). Pohjois-Euroopan sateiden lisääntyminen kesällä noin 10 %, ei aiheuta kuivuuden aiheuttamien ongelmien katoamista, koska lämmenneellä ilmalla on suurempi kyky haihduttaa kosteutta. Esitetyissä skenaarioissa on arvioitu, että Etelä-Suomen ilmasto vastaisi vuosisadan lopussa nykyistä Keski-Eurooppaa (cdn.fmi.fi). Tampereen teknillinen yliopiston julkaiseman tutkimuksen mukaan ilmastomuutos tulee vaikuttamaan seuraavasti; viistosateiden aiheuttamat julkisivurasitukset lisääntyvät, rakenteiden kuivumiskyky vähenee, kondenssi- ja homeriskit lisääntyvät rakenteiden ulko-osissa ja vanhojen betonijulkisivujen pakkasrapautumat lisääntyvät (Vinha 2013, 69).

UUDEKESKILÄMPÖTILAN JA SADEMÄÄRÄN MUUTTUMINEN SUOMESSA



Kuvio 10. Maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita (cdn.fmi.fi)

3.3 Puupintojen ulkoiset rasitteet

Talon julkisivun rasitukseen vaikuttavat sijainti ja korkeusasema. Ilmansuunnissa ovat erilaiset rasisolosuhteet. Auringon rasitus on voimakkainta kaakkois-, lounas-, eteläsuunnassa, ja viistosade tulee yleisimmin lounaasta. Viistosade saa aikaan paineen, minkä avulla vesi yrittää tunkeutua julkisivuun mahdollisista raoista, pinnoitteen vauriokohdista ja pinnoitteen lävitse. Sopivan pyörteen ansiosta vesi voi nousta myös ylöspäin verhouksen ulkopinnassa. Suunnitteluratkaisuilla vaikutetaan rakenteen rasisolosuhteisiin. Rakenteellinen suojaus on rakennuksen kannalta erittäin tärkeä. Rakenteellinen suojaus käsittelee detaljia, saumoja, kiinnityksiä ja liittymäkohtia (Hometalkoot.fi).

Mikroilmaston huomioimista ei tule myöskään unohtaa rakennuksen suunnittelussa. Mikroilmasto kuvaa rakennuksen välittömässä läheisyydessä olevaa ilmastoa. Mikroilmastoon vaikuttavat yleinen ilmasto ja rakennuksen lähiympäristö. Lähiympäristöön kuuluvat kasvillisuus, maaperä ja rakennukset. Ympäröivillä rakennuksilla on vaikutus ilmavirtoihin ja niiden aiheuttamiin varjoihin (Ympäristöministeriö 2016, 123).

Rakennuksen julkisivujen liiallisia rasituksia voidaan ehkäistä tekemällä leveät räystäät ja riittävän korkea sokkeli. Pintakäsittely julkisivuille toteutetaan mahdollisimman pian asennuksen jälkeen, jos käsittelyä ei ole jo tehty tehtaalla. (Hirsitalon suunnitteluperusteet 2012.)

Puun käyttöiän kannalta suurin rasitus on kosteus. Kosteuden lähteenä voi olla mikroilmasto, materiaalin kosteus, lämpötila ja näiden kesto aika. kosteusvauriot johtuvat rakenteiden vedensietorajojen ylittymisestä (Kokko, Ojanen, Salovaara, Hukka, Viitanen 1999, 28). Normaalisti kosteusteknisesti toimivan julkisivun rasitukset ylittyvät paikallisesti homeenkasvun riskirajan, koska ulkoilman kosteus itsessään voi aiheuttaa homekasvustolle tarvittavan kosteuden (taulukko 2 ja 3). Tästä päätellen on hyvin vaikeaa estää täydellisesti homekasvuston syntyminen (Kokko 1999, 34). Puun harmaantuminen taas johtuu auringon UV-valon, veden ja muiden ulkoilman partikkelien yhteisvaikutuksesta, jolloin puun pintaan alkaa kasvaa sinistäjäsiementenrhmastoa (Kokko 1999, 30).

Taulukko 2. Mikrobit (Ympäristöministeriö 2016, 131)

Mikrobiryhmä	Ilman suhteellinen vähimmäiskosteus
Homesienet	70...85 %
Bakteerit ja sädesienet	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %

Mikrobikasvuston ilmeneminen ei tarkoita automaattisesti terveydellisiä vaaroja, vaan mikrobikasvuston sijainti on oleellisempi. Sisätiloissa mikrobikasvua ei sallita ollenkaan, kun taas vaipan ulkopuolissa osissa mikrobikasvusto ja vauriotkaan eivät aiheuta yleensä vaaraa terveydelle edellyttäen, että rakennuksenvaippa estää ulkopinnan mikrobien kulkeutumisen sisäilmaan (Ympäristöministeriö 2016, 143).

Taulukko 3. Homehtumisriski (Ympäristöministeriö 2016, 151)

Rakennusosa	Homehtumisriski ¹⁾		
	RH 70...80 % ²⁾	RH 80...90 %	RH > 90 % ja kapillaarialue
Rakennuksen ulkovaipan sisäosat, väliseinät ja välipohjat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lähinnä lyhyinä jaksoina	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina ³⁾	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, ellei kosteuspitoisuus esiinny vain lyhyinä jaksoina esim. kosteiden tilojen sisäpinnoilla. ^{4) 5)}
Rakennuksen ulkovaipan ulko-osat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lyhyinä jaksoina tai pidempiaikaisesti vuoden kylmimpänä aikana	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai kylminä vuodenaikoina ³⁾	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, jos kosteuspitoisuudet esiintyvät pitkinä jaksoina, ellei rakenteen lämpötila ole samanaikaisesti alle 0 °C. ³⁾
Rakennuksen maakeskityksessä olevat perustusrakenteet (kiviainespohjaiset materiaalit, solumuovit, solulasit yms.)	Rakenteen toimivuutta/vaurioitumista ei arvioida suhteellisen kosteuden mukaan. Sen sijaan on arvioitava onko kosteudesta haittaa niille materiaaleille, jotka ovat keskeisissä ko. rakenteeseen, siirtykö kosteus ko. rakenteesta sisään päin sekä arvioitava tapahtuuko maanvastaisen rakenteen kautta ilmavuotoja sisätiloihin.		
Rakennuksen kapillaarikatko-kerros, alustäyttö ja maapohja	Rakennusosassa esiintyy yleisesti home- ja mikrobikasvua, joten homehtumisriskin arviointi ei ole tarkoituksenmukaista. ⁶⁾		

¹⁾ Joissain tapauksissa voi olla tarpeen arvioida rakenteessa vallitsevan kosteustason lisäksi tarkastelupisteessä olevan, mikrobien ravintona toimivan orgaanisen aineksen määrää.

²⁾ Materiaalin kosteuspitoisuudessa $RH \leq 75\%$ homehtumisriski on vain hyvin herkillä materiaaleilla, yli 20 °C lämpötilassa kosteusrasituksen esiintyessä tasaisena useiden kuukausien ajan. Vertaa luku 6, kuva 6.5 ja taulukko 6.5.

³⁾ Edellyttää kokonaistilanteen huomioimista perustuen yleensä kokemukseräiseen tietoon rakenteen toiminnasta.

⁴⁾ Vesivuototapauksissa korjaukselta voidaan joissain tapauksissa välttyä, jos rakenne kuivatetaan riittävän nopeasti.

⁵⁾ Lukuun ottamatta poikkeustapauksia, joissa kosteuspitoisuus voi olla >90 % tai kapillaarialueella pitkiä aikoja. Näitä ovat mm. märkätilan vedeneristeen päällä olevat rakenteet eli laatan kiinnityslaasti, saumalaasti ja keraaminen laatta, märkätilan bitumivedeneristeen päällä oleva betoninen pintalaatta sekä huoneistojen välinen märkätilan betoniseinä, jossa on suihkutila seinän molemmilla puolin.

⁶⁾ Maaperässä oletetaan olevan suunnittelun lähtökohtana huokosilman suhteellinen kosteus 100 %, mutta kosteus voi olla ajoittain jopa kapillaarialueella. Alapohjarakenteen toimivuutta ei voida arvioida pelkästään rakenteiden alapuolisen kosteustason perusteella.

Homehtuminen, sinistyminen ja lahoaminen ovat sienten vaikutuksesta tulleita biologisia ilmiöitä. Home- ja sinistäjä sienet voivat käyttää ravinnokseen puun omia vesiliukoisia ainesosia. Homesienet kasvavat puunpinnassa, mutta sinistäjä sienet voivat tunkeutua syvemmällekin. Homesienten torjunta voidaan tehdä pintakäsittelyllä, joka sisältää homeenestoainetta. Lahottaja sienten elinehdot vaativat riittävän puun kosteuspitoisuuden (20–25%), happea, suotuisan lämpötilan (0–50 °C) ja lisäravinteita (RIL 205-1-2017, 186). Biologisiin rasituksiin kuuluvat myös puuta syövät hyönteiset. Suurin puun vaurioituminen tuholaisten osalta tapahtuu metsässä tai vasta kaadetussa puussa. Puun jatkojalostuksessa ja laadunvalvonnan vuoksi tämänkaltaiset vauriot huomataan ja karsitaan pois (RIL184, 159).

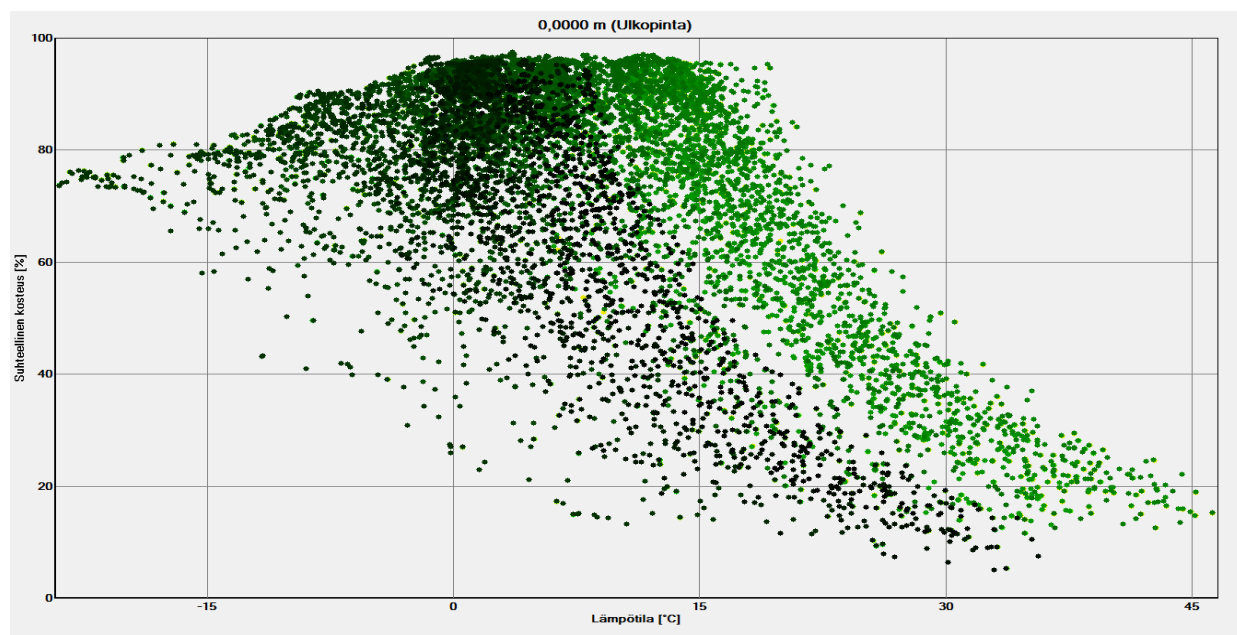
3.4 Puupintojen suojaus

Suomalaisessa perinnerakentamisessa hirsipintoja on säilynyt käsittelemättömänä koko rakennuksen suunnitellun käyttöänsä. Tämän edellytyksenä ovat, että rakennus on oikein suunniteltu ja ympäristöolosuhteet ovat olleet hyvät. Tällöin käsittelemätön hirsirakennus on saanut harmaan patinoituneen ulkonäön. Käsittelemättömien seinien pinnasta alkaen alkaa ajan saatossa tapahtua eroosiota aurinko- ja uv-säteilyn vuoksi, joka hajottaa puun ligniiniä. Minkä vuoksi on suotavaa maalaus- ja pintakäsittely, joka tuo samalla esteettisen nykyaikaisen ulkonäön talolle. (Siikanen 2016.)

Perinteinen ponttilautavuoraus eroaa massiivipuun puunsuojauksen osalta. Ponttilaudoituksen pintakäsittelyn tulee olla tiiviimpi, kun taas massiivirakenteisen julkisivunpinnan on läpäistävä hyvin vesihöyryä. (hometalkoot.fi.) Käsittelyaineet jaetaan maaleihin ja puunsuoja-aineisiin. Maalien huonona puolena voidaan pitää, että ne muodostavat usein liian tiiviin kalvon. Puunsuoja-aineet voivat olla peittäviä tai kuultavia, ja niihin lisätään valmiiksi pieniä määriä homeenestoainetta. Peittävällä puunsuojalla on myös ominaisuus torjua auringon uv-säteilyä paremmin kuin kuultavalla puunsuojalla. (Hirsriteollisuus HTT ry.)

Vertaan CLT-massiivipuuta hirteen tässä osiossa, koska tutkimustietoa on vielä vaikeasti saatavilla. CLT-levyn pintalamelli voi olla osin pinta- tai sydänpuuta, joka vaikuttaa lamellin kosteuselämisen suuruuteen. Pintapuu reagoi kosteuteen voimakkaammin kuin sydänpuu johtuen pintapuun huokoisemmasta rakenteesta. Pintapuun kosteuselämisestä johtuvat muodonmuutokset aiheuttavat suuren rasituksen käsittelyaineelle. Kalvon muodostavilta käsittelyaineilta vaaditaankin hyvää elastisuutta, ettei maali hilseilisi ja ratkeile. (Niskanen 2018.)

Maalin ja puun välissä on oltava hyvä adheesio, koska ilman adheesiota puunpinnalla on vain irtomainen kalvo. Tällöin kalvon ja puun välillä kosteusrasitus lisääntyy, koska maalinkalvo vastustaa kosteuden haihtumista puusta voimakkaasti (Rakennusmateriaalien- ja osien kestävyys RIL 184-1991, 189-193).



Kuvio 11. Wufi-simulointi (Niskanen 2018)

Kuviosta 11. nähdään miten suurta käsittelemättömän puun kosteuden vaihtelut ovat. Rakenne kuivuu hyvin, mutta kosteuseläminen aiheuttaa halkeamia puun pintaan. Halkeilleet pinnat muodostavat oivallista alaa kosteuden tunkeutumiselle ja myös visuaalisuus kärsii. Maaleilla on tyypillisesti sd-arvo suurempi, kun taas puunsuojakäsittelyaine päästä paremmin vesihöyryä lävitse ja perinteinen punamulta päästää 100 % vesihöyryä lävitse. Valmistajien sivuilta sd-arvoa ei ilmennyt. Todetakaan, että diffuusionvastukseen liittyy oleellisesti myös käsittelykerroksen paksuus. CLT:n ulkopinta

kannattaa käsitellä vesihöyryläpäisevällä tuotteella, mutta pinnan myös täytyisi hylkiä ulkopuolista-kosteuttakin. Liian tiiviillä rakenteella CLT:n pinta ei pääse kuivumaan ja siitä seuraa ajan kuluessa, että tiiviin pinnoitteen taakse kertyy kosteutta. (Niskanen 2018.)

Käsittelyaineen vesihöyrynläpäisevyys voidaan ilmoittaa sd-lukuna eli diffuusionvastus. Luku kuvaa ilmapatjan paksuutta (m), jolla on yhtä suuri vastus kuin tutkittavalla maalikalvolla (tiivistalo.fi). vesihöyrynläpäisevyyden diffuusioarvoja; läpäisevä maali $sd=0,1$ ja kiiltomaali $sd=3$ (Sähköinen SFS-standardi 2008, SFS-EN ISO 10456:2007(E), Suomen Standardisoimisliitto SFS ry)

3.5 Tuulettuvan alapohjan suunnittelu

3.5.1 Tuulettuvan alapohjan toimintaperiaate

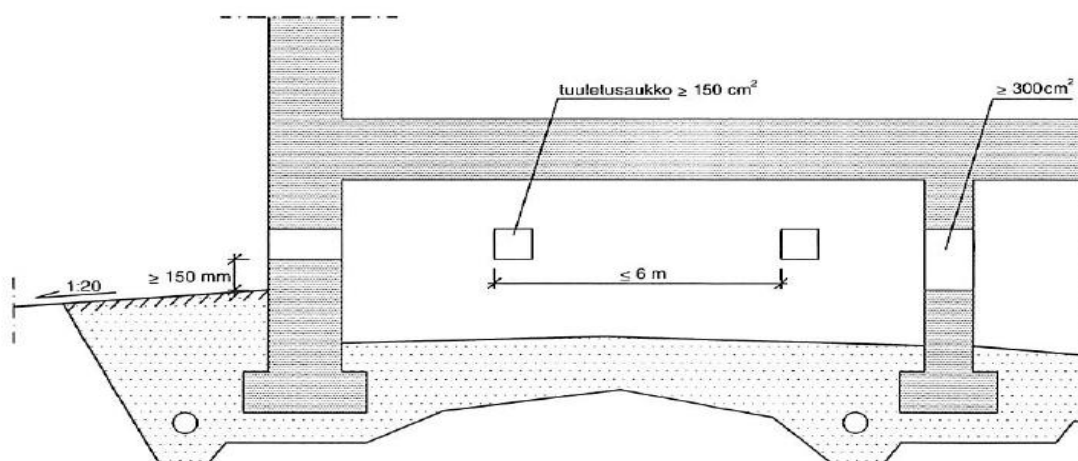
Tuulettuvan alapohjan toimintaperiaate on alapohjan ja maanpinnan välissä vaihtuva ulkoilma. Tuulettuvan alapohjan suunnittelussa tuleekin kiinnittää seuraaviin seikkoihin erityistä huomiota:

- Tuulettuvatila voi olla seinän viereisen maanpinnan ala- tai yläpuolella. Ylempänä sijaitseva tuuletustila on parempi ratkaisu.
- Alapohjarakenteen tulee olla tiivis, ettei ilmavuotoja esiinny rakenteesta sisätiloihin. Ilmavuodot voivat tuoda haitallisia kaasuja ja kosteusvirtoja sisätilaan.
- Tuuletuksen tulee olla riittävä, että tuuletetussa tilassa vallitsisi mahdollisimman alhainen suhteellinen kosteus.
- Tuuletetun tilan tulee olla riittävän korkea, koska huolto- ja tarkastustoimenpiteet on helpompi suorittaa.
- Tuulettustilassa ei saa olla orgaanista-ainesta maanpinnalla, koska maaperän suuri kosteus aiheuttaisi mikrobikasvustolle otolliset olosuhteet.
- Maanpinnan laskeva kallistus perusmuuriin päin, ja tilassa ei saa myöskään esiintyä kuoppia tai muita vastaavia alueita mihin vesi voi jäädä seisomaan.
- Vajovesien johtaminen toteutetaan seinän vieruksiin tehtävillä kallistuksilla talosta pois päin.
- Perusmuurin täytyy eristää jonkin verran lämpöä, ettei alapohjan lämpötila laske liian alas aiheuttaen ylimääräistä kosteusrasitusta.
- Tuuletus tapahtuu yleensä tuuletustilan läpivirtauksella.
- Tuuletus ei myöskään saa olla liian suuri, koska perustukset tällöin jouduttaisiin viemään routimattomaan syvyyteen.
- Tuuletusaukot sijoitetaan yleensä talon nurkkiin ja talon keskellä oleviin perusmuureja niihin on tehtävä suuremmat aukot ilmavirtojen vaihtuvuuden vuoksi (Björkholz 1997, 116-117).
- Kapilaarisesti nouseva kosteus tulee katkaista salaojituserroksella.
- muovin sijoitus maanpinnan päälle estää myös kosteutta nousemasta, mutta muovin alle ei saa jäädä orgaanisia aineita. Muoviin voi tehdä reikiä mahdollisten valumavesien pois johtamiseksi.

- Kesäaikaista korkeaa suhteellista kosteutta voidaan laskea maapohjan lämmöneristyksellä (Kosteus rakentamisessa. Suomen RakMK C2opas 1999, 28).

Tuuletuksen mitoitus

- Tuuletusaukkojen yhteen lasketun pinta-alan tulee olla vähintään 4 promillea ryömintätilan pinta-alasta.
- Tuuletusaukko tulee olla vähintään 150 mm maanpinnasta ylempänä.
- Aukkojen vähimmäiskoot 150 cm^2 ja keskellä oleviin perusmuureihin kaksi kertaa suuremmat (Kosteus rakentamisessa. Suomen RakMK C2opas 1999, 29).



Kuva 12. Tuuletusaukkojen sijoitus (Kosteus rakentamisessa. Suomen RakMK C2opas 1999, 27)

3.5.2 Lapin ammattikorkeakoulun koetalon alapohja

Luvussa tarkastelen tuulettuvan CLT-alapohjan lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Lapin ammattikorkeakoulun koetalon tutkimustiedoista saa kattavan ja testatun tietopaketin. Alla olevalla esimerkillä viitataan suoraan Lapin ammattikorkeakoulun tutkimustuloksiin. Koetalon sijainti tutkimuksen ajan oli Kemi, Digipolis-kampuksen alue.

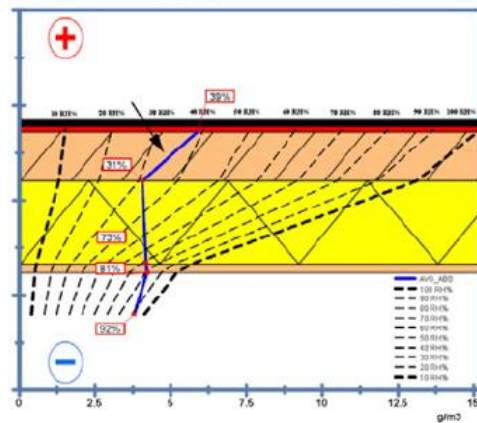
Koetalon alapohjarakenne:

Lattiaparketti 14mm, askeläänieriste 2mm, CLT-levy 40/40/40 (120mm), Tuulensuoja, Paroc Cortex one 205mm, Kiinnityslauta 22x100 k600

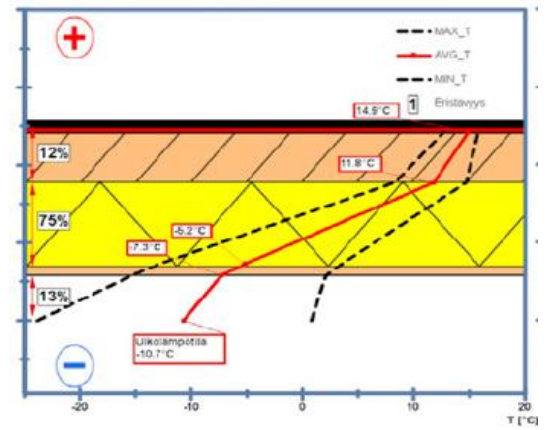
Rakenteen U-arvo: $0,134 \text{ W/mK}$, kun tuulettuvan alapohjan vertailuarvo on $0,17 \text{ W/mK}$.

Mittaustulosten perusteella CLT-levy toimii höyrynsulkuna tehokkaasti estäen sisältä-ulkotilaan päin tapahtuvan diffuusiovirran. Tutkimuksessa on kerrottu, että missäkään vuoden 2014 mittausseurannassa lähelle kastepistettä tai haitallista RH-lukemaa ei päästy (Pirttinen 2016, 17).

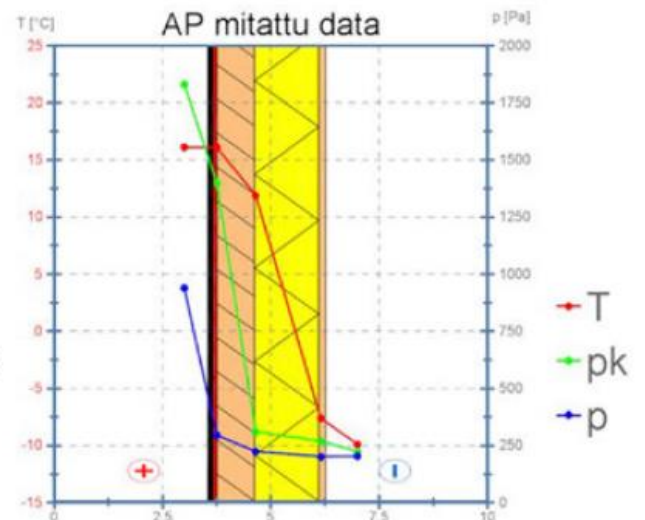
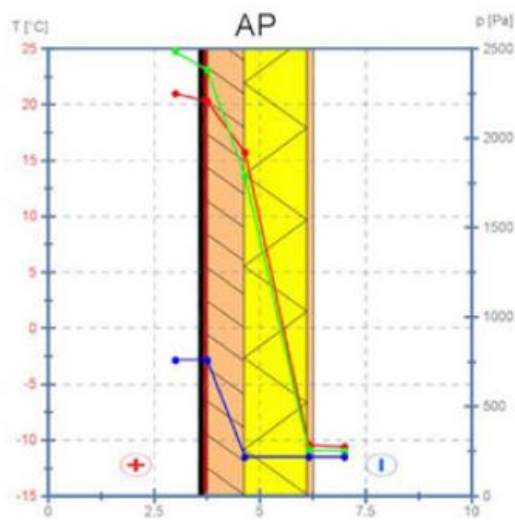
S10 AP (H) Marraskuu 2014



S9 AP (T) Tammikuu 2014



Kuva 13. Kosteuspitoisuudet (Pirttinen 2016, 17) Kuva 14. Lämmön jakautuminen (Pirttinen 2016, 15)



Kuva 15. Lämpötila, kyllästys- ja osapaine alapohjarakenteessa (Pirttinen 2016, 63)

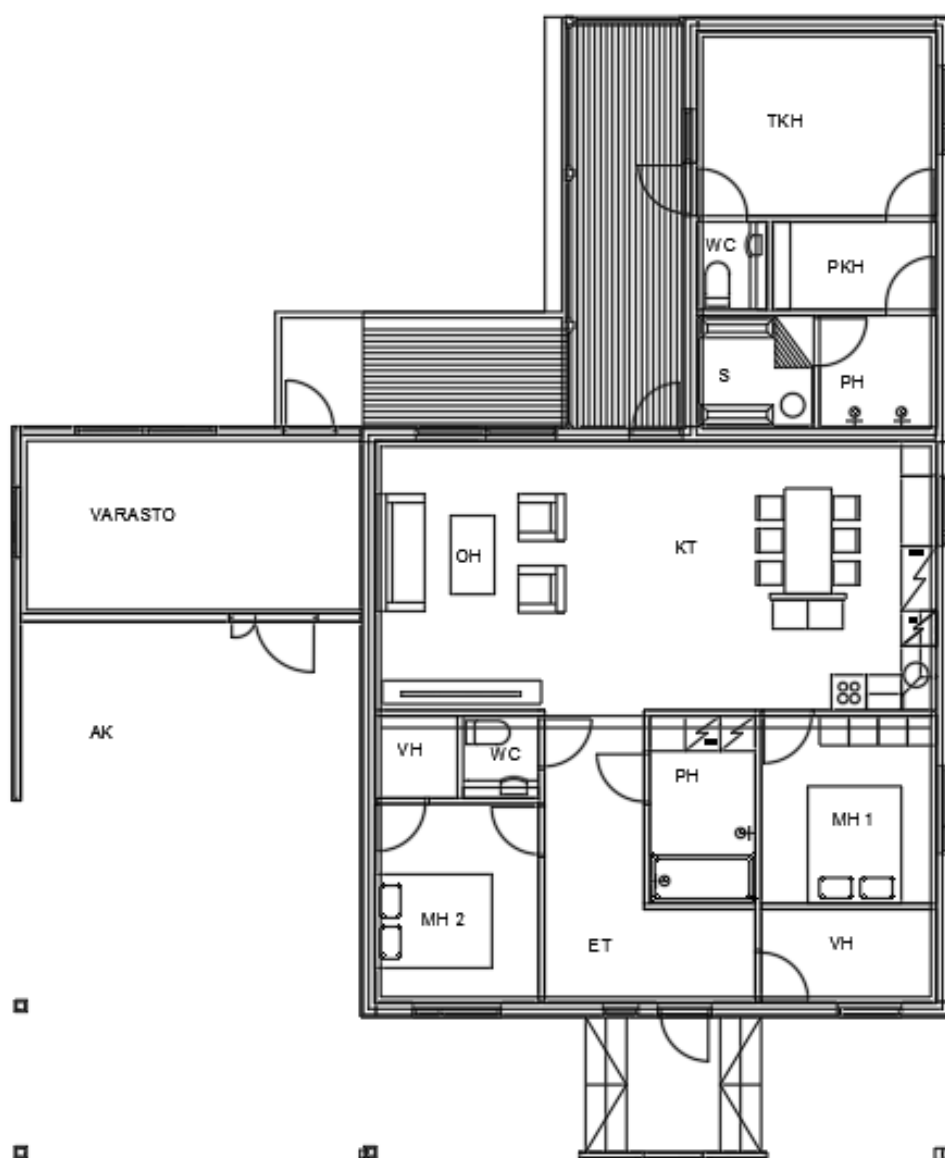
T=Lämpötila, p= vesihöyryn osapaine, pk= lämpötilaa vastaava vesihöyryn kyllästyspitoisuus. Lapin ammattikorkeakoulun tutkimuksen loppuanalyysissä todetaan, että alapohjarakenne toimii Suomen ilmasto-olosuhteissa eikä kosteuden tiivistymistä tapahdu rakenteissa (Pirttinen 2016, 64).

4 ESIMERKKITALO

Uudistuneiden rakennusmääräysten astuminen voimaan 1.1.2018 antoi huojennuksia puurakentamiseen. Tämän esimerkkitalon avulla perehdytään määräyksiin, suunnitteluun, työmaatekniikkaan ja kustannuksiin.

Opinnäytetyöni esimerkkitalon suunnittelutiedot eivät ota vastuuta suunnitteluratkaisuista.

Hannu Tuhkanen Savonia-ammattikorkeakouluun 2018 tekemässään rakennusinsinöörin opinnäytetyössä on perehdytty tämän esimerkkitalon vaipparakenteen työmaatekniikkaan ja kustannuslaskentaan.



Kuva 16. Pohjapiirros (Tuhkanen 2018)

4.1 Asetusten mukaisuus

Tasauslaskennassa käsitellään vaipparakennetta, vuotoilmaa ja ilmanvaihtoa. Suunnitteluratkaisu kuvaa rakennusta, joka aiotaan toteuttaa. Vertailuratkaisu on asetusten mukainen saman suuruinen kuin suunniteltu rakennus. Näitä ratkaisuja verrataan keskenään, jos suunnitteluratkaisu ylittää vertailuarvon kyseisessä kohdassa, niin on tehtävä jostakin muusta parempi rakenne tai järjestelmä lämpöhäviövaatimusten mukaisuuden täyttymiseksi. (Ympäristöministeriö 2018.)

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan rakennusosien pinta-alojen mukaan ja lämmönläpäisykerroimien avulla. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö W/m^2K , wattia neliometriä kohti. Ennen vuoden 2018 vuoden alkua CLT-massiivipuuseinän vertailuarvossa käytettiin normaalin ulkoseinän $0,17 W/m^2K$ arvoa. Uudessa asetuksessa hirsiseinä on poistunut ja tilalle on tullut nimike massiivipuu. Massiivipuun vertailuarvo on $0,4 W/m^2K$, ja sen paksuus on oltava keskimäärin vähintään 180 mm. Tämän muutoksen taustalla ovat perinteisen hirsirakentamisen säilyttäminen ja ekologinen näkökanta. Ekologisuudella viitataan hiilen sitoutumiseen puuhun, joka vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillintään suotuisasti. Tasauslaskennassa julkisivun ikkunapinta-alan vertailuarvo on oltava vähintään 15 % ja enintään 50 % maanpäällisten kerrostasoalojen yhteenlasketusta-alasta. (Ympäristöministeriö 2018.)

Rakennuksen vaipan vuotoilmaa kuvaa ilmanvuotoluku q_{50} . Suunnitteluratkaisussa ilmanvuotolukuna voidaan käyttää $4,0 m^3/(h m^2)$, jos parempaa arvoa käytetään on se mitattava myöhemmin tai osoittaa toteen tarkoilla ja perusteluilla laadunvarmistustoimenpiteillä. (Ympäristöministeriö 2018.)

Tasauslaskennassa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään vertailuarvoa 55 %. Suunnitteluratkaisussa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan yhtälöistä, johon vaikuttavat muun muassa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, järjestelmän käyntiaikasuhte, poistoilman virtaus ja ilman ominaisarvot. (Ympäristöministeriö 2018.)

Esimerkkitalosta tehtiin tasauslaskenta ympäristöministeriön laskentataulukolla, jolla voitiin todeta asetusten mukaisuus. Pääpaino laskennassa oli rakennusosilla, erityistä huomiota ei kiinnitetty vuotoilman ja ilmanvaihdon laskentaan. CLT-materiaali on ilmatiivistä 80mm:stä ylöspäin, joten uskalimme ottaa vertailuarvoksi $2,0 m^3/(h m^2)$, jota käytettiin laskennassa. Kokeiltiin myös suunnitteluarvoa $4,0 m^3/(h m^2)$, silläkin olisi vielä päässyt läpi vertailuarvosta muiden ratkaisujen ollessa samoja. Ilmanvaihdossa taas tyydyttiin 55 %:n vuosihyötysuhteeseen, vaikka mahdollisuus on tehdä parempikin ilmanvaihtojärjestelmä (Taulukko 4).

Taulukko 4. Lämpöhäviön tasauslaskin 2018 (ym.fi)

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, Ulkoseinä olt-massivipuu, U-arvo on 0,395 W/(m ² K)
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Teemu Niskanen, Hannu Tuhkanen
Päiväys	15.1.2018
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	470 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	134 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	118 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 137 m²
 Ikkunapinta-ala on 12 % maanpäällisestä kerrostasosta
 Ikkunapinta-ala on 11 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 94 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot		Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{tot} = A · U]	
Lämpimät tilat						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Ulkoseinä				0,17		-	-
Massivipuuseinä ¹⁾		110	115	0,40	0,40	44,2	45,4
Yläpohja		118	118	0,09	0,07	10,6	8,0
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)				0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		118		0,17	0,15	20,1	17,6
Alapohja (maanvastainen)				0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa				0,16		-	-
Ikkunat		20,1	15,5	1,00	1,00	20,1	15,5
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾		6,3		1,00	1,00	6,3	6,3
Kattoikkunat				1,00		-	-
Kattovalokuvut				1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä		373	373			101,2	92,8
Puoliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä				0,26		-	-
Massivipuuseinä ¹⁾				0,60		-	-
Yläpohja				0,14		-	-
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)				0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)				0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)				0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa				0,24		-	-
Ikkunat				1,40		-	-
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾				1,40		-	-
Kattoikkunat				1,40		-	-
Kattovalokuvut				1,40		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä		-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)						Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuoto} = 1200 · q _v]	
Vuotolima		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat		2,0	2,0	0,0059	0,0059	7,1	7,1
Puoliämpimät tilat		2,0				-	-
ILMANVAIHTO							
Polttolämpö, m ³ /s						Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _{iv})]	
Häiritsevä ilmanvaihto		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat		0,047		55	55	25,5	25,5
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Puoliämpimät tilat				55		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						134	125
Puoliämpimien tilojen						-	-

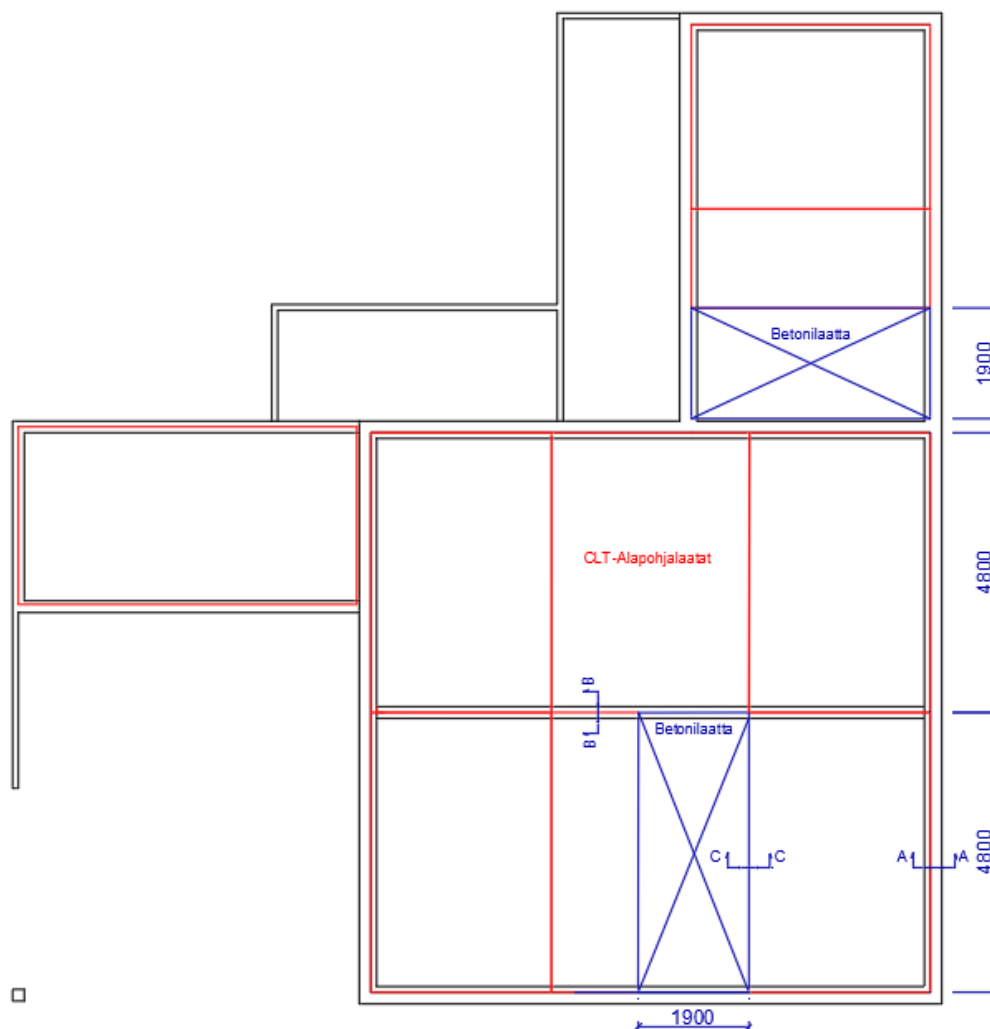
¹⁾ Massivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.²⁾ Uiko-ovien ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde														
Rakennuslupatunnus														
Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista														
Pinta-alat Vertailukkinapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V									
kyllä	ei													
V														
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa - lämpimissä tiloissa - puoli-lämpimissä tiloissa		<table border="1"> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	V											
V														
Rakennusvalpan ilmanpitävyys														
Rakennusvalpan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen - lämpimissä tiloissa - puoli-lämpimissä tiloissa		<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>Enimmäisarvo</td> <td>Suunnitteluarvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> <td>4</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo	V		4	2,00			4	
kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo											
V		4	2,00											
		4												
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus														
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen - lämpimissä tiloissa - puoli-lämpimissä tiloissa		<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>Vertailuarvo</td> <td>Suunnitteluarvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> <td>134 W/K</td> <td>125 W/K</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo	V		134 W/K	125 W/K				
kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo											
V		134 W/K	125 W/K											
Tarkistuslistan yhteenveto														
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V									
kyllä	ei													
V														
Lisätietoja														
Rakennuksen ilmanpitävyys Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvalpan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen valpan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mitaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvalpan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.														
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde Ilmanvaihtokoneen poistoliman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 sääntöjä. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoliman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoliman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.														
Huomautus Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.														

4.2 Alapohja

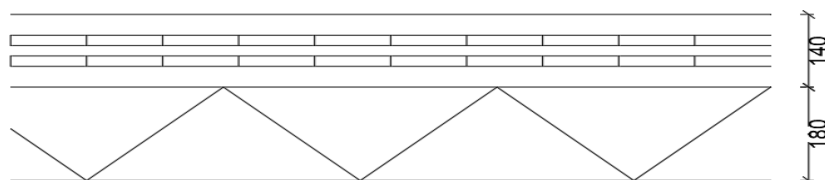
Alapohjalaatasto koostuu yhdeksästä CLT-alapohjalaatasta ja kahdesta esivalmistetusta betonilaatasta.



Kuva 17. Alapohjalaatasto (Tuhkanen 2018)

Alapohjan rakenne

- CLT140mm, Paroc Cortex one 180mm



Kuva 18. Alapohja (Niskanen 2018)

CLT-alapohjan lämmöneristyskykyä kuvaa alla oleva u-arvo lasku

$$U_{\text{alapohja}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,14\text{m}}{0,11\text{W/mK}} + \frac{0,18\text{m}}{0,33\text{W/mK}} + 0,04} = 0,144 \text{ W / m}^2\text{K (vrt. arvo } 0,17 \text{ w/m}^2\text{K)}$$

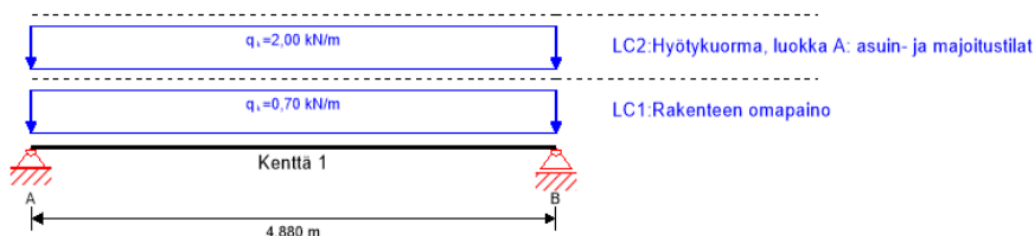
Yleistä mitoituksesta

- Periaatteessa CLT on ristiin kantava, mutta tällä ei ole käytännössä merkitystä, koska levyn leveys on enintään 3,2m.
- Mikäli CLT-levyjä valmistettaisiin yli 4,0m, niin olisi ristiin kantavuudella merkitystä.
- Kuljetus alkaa tuottamaan ongelmia, jos valmistetaan leveämpiä levyjä. (Mylly 2016.)

4.2.1 Alapohjan suunnittelua Stora Enson Calculatis-ohjelmistolla


Stora Enson CLT140mm L5s

- Leveys 1 m (ohjelmisto suosittelee käyttämään rakennusanalyysia varten)
- Luotettavuusluokka RC2
- värähtelyanalyysissä käytetty 3 m (huoneen leveys)



Maailmanlaajuinen käyttöaste								77 %	
ULS	22 %	ULS Tulipalo	8 %	SLS	68 %	SLS Värähtely	77 %	Kannatus	-1 %

Jakso: CLT 140 C5s				
	Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
	1	40,0 mm	90°	C24 kuusi
	2	20,0 mm	0°	C24 kuusi
	3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
	4	20,0 mm	0°	C24 kuusi
	5	40,0 mm	90°	C24 kuusi
	t_{CLT}	140,0 mm		

Jakso Tulipalo: CLT 140 C5s						
	Kerros		Paksuus		Suuntautuminen	
	1		40,0 mm		90°	
	2		20,0 mm		0°	
	3		20,0 mm		90°	
	4		20,0 mm		0°	
	5		13,0 mm		90°	
	t_{CLT}		113,0 mm			
Paloluokka: R 30						
Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta						
Aika		30 min				
k_0	d_0	$d_{char,0,h}$	$d_{ef,h}$	$d_{char,0,v}$	$d_{ef,v}$	
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
1	7	20,0	27,0	0,0	0,0	

Materiaalin arvot										
Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k} \min$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	460,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät										
	Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC1	Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	
LC2	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3	

LC1: Rakenteen omapaino	
Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuorimitus aluksi
	[kN/m]
1	0,70

Värähtelyluokkaa piti laskea luokkaan 2 (vähemmän tiukat arvot). Pelkällä CLT levyllä ei päässyt värätelyanalyysistä läpi. Värähtelyssä käytetty vaimennuskerrointa 4%. Ohjelmistossa kerrotaan , että vaimennus kerroin on 0,1 – 5 % välillä. (CLT+kelluvatasoite on n. 4%)

Värähtelyanalyysi				
Yleinen				
Konaismassa		1,48	[t]	
Vaikutusalueen leveys		2,4	[m]	
Jäykkyys Pitkittäissuuntainen		2641,7	[kNm ²]	
Jäykkyys Poikkisuunnassa		216,7	[kNm ²]	
Modaalinen vaimennus		4,0	[%]	
α		0,0	[-]	
Henkilön paino		700,0	[N]	
Modaalinen massa		741,2	[kg]	
Erittely				
Kriteeri	Lask.	Luokka II	Luokka II	Ik. I
Taajuuskriteeri, minimi	10,651 [Hz]	4,5 [Hz]	42 %	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	10,651 [Hz]	6,0 [Hz]	56 %	✓
Kiihtyvyydekriteeri	0,067 [m/s ²]	0,1 [m/s ²]	67 %	✓
Jäykkyydekriteeri	0,386 [mm]	0,5 [mm]	77 %	✓

Jos värähtelyanalyysia ei otettaisiin tarkasteluun, niin seuraava mitoittavatekijä olisi taipuman käyttörajan alustava poikkeama.

Alustava poikkeama [$w_{0min.}$]						
Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	2,44	1/400	12,2	8,3	68 %	LCO2

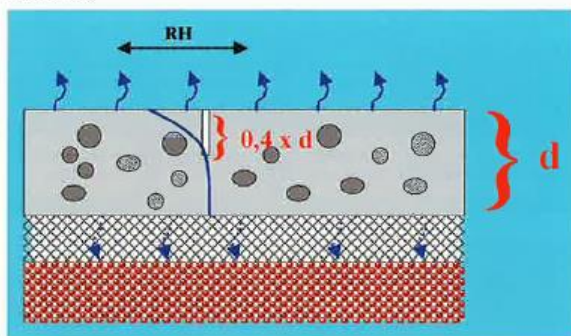
Kokeilin myös käyttöastetta ohuemmalla CLT120mm L5s levyllä. Käyttörajan alustavaksi poikkeamaksi tuli 107 % ja värähtelyanalyysissa Kiihtyvyydekriteeriksi 162 % ja jäykkyydekriteeriksi 113 %. (Niskanen 2018.)

4.2.2 Märkätilojen esivalmistettu betonilaatta

Esivalmistetun betonilaatan tarkoitus on saada alapohjakokonaisuus kerralla valmiiksi ja se myös mahdollistaa työmaan tehokkaan etenemisen. Laatta valetaan tasaiselle maa-alustalle eps-eristeiden päälle anturavalujen yhteydessä. Eristeet kiinnitetään teräslenkeillä valettavaan betoniin. Alapohja-elementteihin tulee valmiiksi kaivot, lämmityskaapelit ja kallistukset. Betonin kuivumisen nopeuttamiseksi laatta suojataan sateelta lämmitettävällä kevytrakenteisella sääsuojalla. Valmis betonilaatta asennetaan CLT-laattojen asennuksen yhteydessä. Betonilaatta lepää päistään perusmuurienpäällä ja sivuistaan tukeutuu CLT-alapohjalaattoihin. Laatan asentamisen jälkeen laatta jatkaa kuivumista sisätiloissa, jossa olosuhdetta pidetään yllä lankalämmityksellä ja hyvällä ilmanvaihdoilla.

Betonin kuivumisen arviointiin käytin Merikallion laskentatapaa. Kuivumisajan arviossa perusaikaa kerrotaan kertoimilla. Kertoimet tulevat vesi/sementtisuhteesta, paksuudesta, alustasta, kastumisesta ja olosuhteesta. (Merikallio.)

Rakenne:



Laskentakaava:



Kertoimet:

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Alusta	Kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kuva 19. Betonilaatan kuivumisen arviointi (Merikallio)

- Betonilaatan paksuus laskennassa on 120 mm.
- Normaali lattiabetonin vesi-sementtisuhte = 0,7.
- NP (nopeasti päällystetty) -betonin vesi-sementtisuhte = 0,5.

Asetetaan tavoitekosteuksi RH 85%. Olosuhde 25 °C, RH 50%.

Kuivumisaika:

- normaali betoni (K30) $17 \times 1,0 \times 2,1 \times 1,1 \times 1 \times 0,7 =$ noin 27 viikkoa
- NP-betoni $17 \times 0,5 \times 2,0 \times 1,1 \times 0,9 \times 0,7 =$ noin 12 vk viikkoa

Kuivumisaika pitenee NP-betonilla 4vk, jos lämpötila tippuu 18 °C: een.

Kuivumisaika pitenee NP-betonilla 5vk, jos kosteus nousee 30% (RH 80%).

Kuivumisaika pitenee NP-betonilla 3vk paksuuden kasvaessa 30mm:llä (150mm).

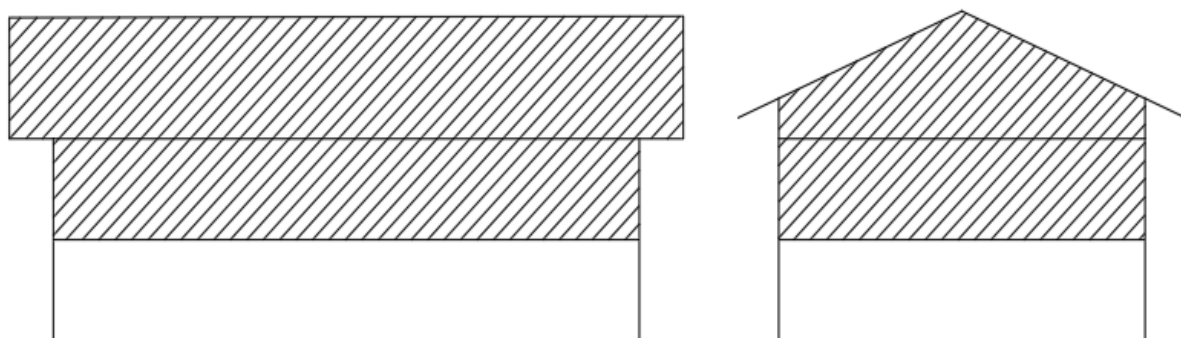
Mikäli rakenteen mahdollinen kuivuminen halutaan vieläkin tätä nopeammaksi, kannattaa miettiä rakenteen kuivumista kahteen suuntaan, esimerkiksi eps:n uritus tai eristeen kiinnitys myöhemässä vaiheessa. (Niskanen 2018.)

4.3 CLT-pientalon jäykistys

4.3.1 Yleistä

CLT-rakenteiden suunnittelussa käytetään euronormien mukaisia suunnitteluohjeita kuten puurakenteiden suunnitteluohje RIL 205-1-2017. CLT-Valmistajilla on yleisiä suunnitteluohjeita täydentäviä kohtia, jotka perustuvat yrityksen tuotesertifikaatin mukaisiin arvoihin. (Puurakenteiden suunnitteluohje RIL 205-1-2017 Lisäohjeet.)

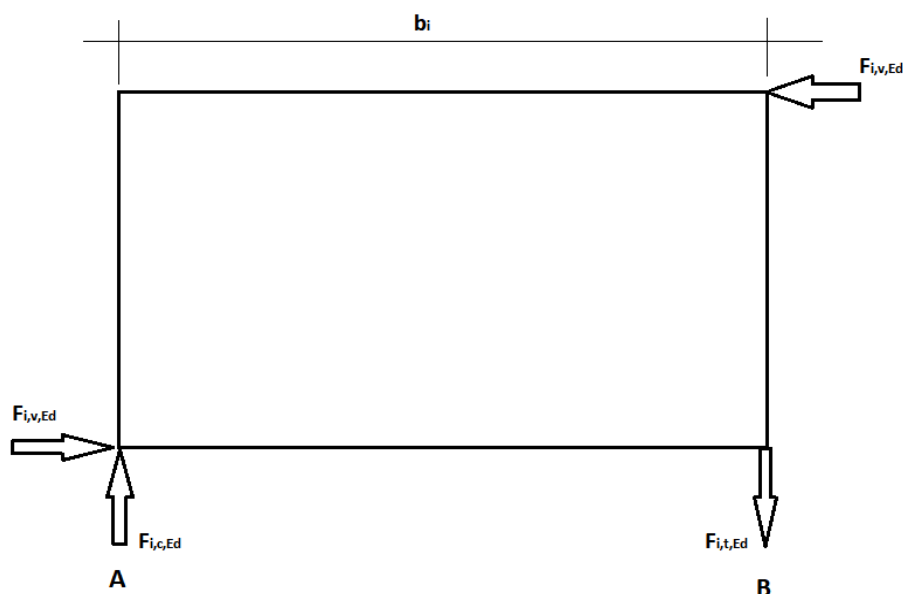
Ulkoisista voimista tuleva kuorma määrittää seiniltä tarvittavan jäykistyskapasiteetin. Tuulesta aiheutuva nopeuspaine määritetään maastoluokan ja rakennuksen korkeuden mukaan. Päätyseiniin kohdistuva vaakakuorma jäykistetään sivuseinillä ja sivuseinien jäykistys vastaavasti päätyseinillä. Vaakasuuntainen kuormitusala lasketaan seinän yläreunan yläpuolelta olevasta rakenteen alasta ja puolet koko seinän alasta. Toinen puoli seinän alasta ankkuroidaan perustuksiin. Ankkurointi estää seinän irtoamisen alustastaan. Ankkurointivoimasta vähennetään pystykuorman osuus kokonaiskuormasta. Kattorakenteen ollessa ristikkorakenne, niin se jäykistetään rakennuksen päistään jäykistysristikoilla ja ristikoiden kaatuminen estetään pystysuuntaisilla jäykistysristikoilla. Nurjahdussidonta ristikoilla tapahtuu vaakasuuntaisten vetosauvojen tukemisella alapaarretasolla ja yläpaarretasolla. (kuva 20; VTT 2006.)



Kuva 20. Tuulikuormien jakauma (Niskanen 2018)

4.3.2 CLT jäykisteseinä

CLT-jäykisteseinän mitoituksessa käytetään materiaalin ominaislujuuksia- ja kestävyysarvoja, jotka ovat hyväksytty ETA-lausunnolla tai suoritusasoilmoituksella. Jäykisteseinän mitoituksessa otetaan huomioon paneelileikkauskestävyys, lamellin leikkauskestävyys, lamellien kosketuspinnan vääntöleikkauskestävyys, seinän leikkaussiirtymä, seinän tukipituus pystyreaktiolle, levyn puristuskestävyys ja seinän kiinnitys alustaan. (Puuinfo 2014.)



Kuva 21. Seinään vaikuttavat voimat (Niskanen 2018)

Mahdollinen vetorasitustuelle A ankkuroidaan kuormitustapauksessa, ellei seinän päällä oleva kuorma pysty kumoamaan sitä. A tukireaktion mukainen vetovoima CLT-levystä alustaan. Seinä kiinnitetään alareunasta alustaan $F_{i,v,Ed}$. (puuinfo.fi)

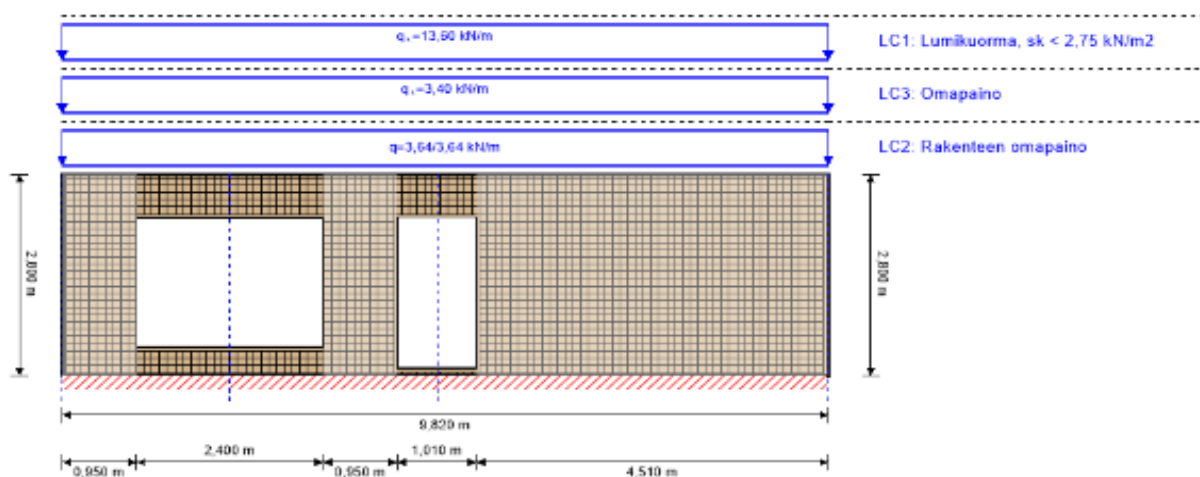
4.3.3 Mekaaniset liitokset

Pientalon vaipparakenteissa liitokset ovat yleisimmin ruuviliitoksia. Storaenson CLT:n RIL 205-1-2017 lisäohjeessa kerrotaan, että liittiminä voidaan käyttää käyttötarkoitukseen soveltuvia CE-merkittyjä nauloja, ruuveja, pultteja ja vaarnoja. Ruuvien paksuus lapeliitoksissa on oltava vähintään 6 mm ja syrjäliitoksissa vähintään 8 mm. Reunaetäisyyksinä käytetään puurakenteiden suunnitteluohjeen RIL 205-1-2017 sahatavaralle annettuja arvoja. Leikkauskuormitetut ruuvit mitoitetetaan pulttiliitosten säännöillä ja pituussuunnassa CLT:n syrjäpinnassa pätylautoja kohtaan olevien ruuvien ulosvetolujuutta vähennetään 25 %. (Puurakenteiden suunnitteluohje RIL 205-1-2017 lisäohjeet Storaenso.)

4.3.4 Seinän suunnittelua Stora Enson calculatis-suunnitteluohjelmistolla

Tässä osiossa perehdyn Stora Enson calculatis-ohjelmistoon. Mitoitin ulkoseinän nähdäkseni minkälaisia käyttöasteita seinä saa. Ohjelmisto antoi 16 erilaista rasiustapausta. Suurimmat käyttöasteet esitän alla olevassa PDF-tulosteessa. Laskelma osoittaa CLT:llä on potentiaalia paljon suurempiin kuormiin eli pientalotuotannon kannalta se merkitsee myös arkkitehtuurin monipuolisuutta.

Järjestelmä



Maa-ilmalaajuinen käyttöaste

25 %

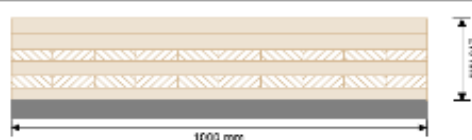
ULS 25 % ULS Tulipalo 8 % SLS 8 %

Jakso: CLT 260 L7s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	40,0 mm	90°	C24 kuusi
2	40,0 mm	90°	C24 kuusi
3	30,0 mm	0°	C24 kuusi
4	40,0 mm	90°	C24 kuusi
5	30,0 mm	0°	C24 kuusi
6	40,0 mm	90°	C24 kuusi
7	40,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	260,0 mm		

Jakso Tulipalo: CLT 260 L7s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	40,0 mm	90°	C24 kuusi
2	40,0 mm	90°	C24 kuusi
3	30,0 mm	0°	C24 kuusi
4	40,0 mm	90°	C24 kuusi
5	30,0 mm	0°	C24 kuusi
6	35,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	215,0 mm		

Paloluokka: R 60

Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta

Aika	k_0	d_0	$d_{char,0,h}$	$d_{ef,h}$	$d_{char,0,v}$	$d_{ef,v}$
1	7	38,0	45,0	0,0	0,0	

Materiaalin arvot

Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{t,k \min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{t,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	460,00	50,00

Kuorma



savonia AMK
Rakennusinsinööri Teemu Niskanen

Projekti
Elementti CLT massiivipuutalo
CLT ulkoseinä

Sivu 2
Päivämäärä 29.03.2018

Kuormitusryhmät

	Kuormaryhmä	Typ	Kestoaika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
LC2	Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC1	Lumikuorma, $s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	Q	Lyhytaikainen	0,9	0	1,5	0,7	0,4	0,2
LC3	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1

LC2:Rakenteen omapaino

Puolisuunnikaskuorma

Etäisyys alkupisteestä	q_k	Kuormitus lopuksi	Kuormituksen pituus
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	3,64	3,64	9,820

LC1:Lumikuorma, $s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$

Jatkuva kuormitus

q_k
[kN/m]
13,6

LC3:Omapaino

Jatkuva kuormitus

q_k
[kN/m]
3,4

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	$1,35/1,00 \cdot \text{LC2} + 1,35/1,00 \cdot \text{LC3}$
LCO2	$1,15/1,00 \cdot \text{LC2} + 1,15/1,00 \cdot \text{LC3} + 1,50/0,00 \cdot \text{LC1}$

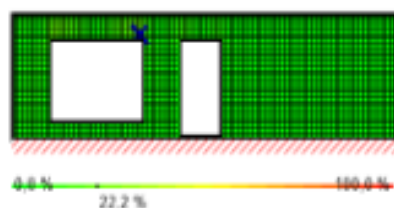
ULS Yhdistelmät Tulipalo

	Yhdistämissääntö
LCO1	$1,00/1,00 \cdot \text{LC2} + 1,00/1,00 \cdot \text{LC3}$
LCO2	$1,00/1,00 \cdot \text{LC2} + 1,00/1,00 \cdot \text{LC3} + 1,00/0,00 \cdot 0,40 \cdot \text{LC1}$

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



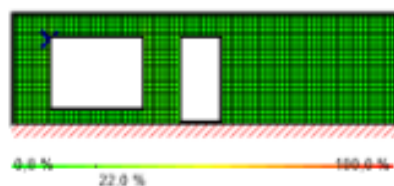
Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



LC02

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{v,jP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
2385	3,25	2,35	0,9	2,5	-8,66	0,40	22 %

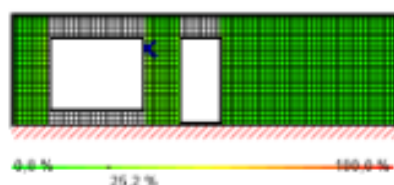
Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



LC02

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
2166	0,95	2,15	0,9	24,0	22,8547	0,0000	3,81	22 %

Käyttöaste lommahdukselle



LC02

Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
1995	3,45	1,95	2,8	78	0,1	0,515	15,12	1,96	0,00	25 %

4.4 Ulkoseinä

260mm CLT-massiivipuulementti, jossa on 7 lamellikerrosta. Seinän lämmöneristävyyttä kuvaa alla oleva u-arvo lasku.

$$\text{Ulkoseinän U-arvo} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{W}} + \frac{0,26\text{m}}{0,11\text{W/mK}} + 0,04\text{m}^2\text{K}} = 0,395 \text{ W / m}^2\text{K (vrt. arvo 0,4)}$$

4.4.1 Wufi-simulaatiot ulkoseinästä

Wufi-ohjelmistolla simuloitiin rakennuksen kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia. Kosteusliikkeet olivat suurimmillaan sisä- ja ulkopinnoilla, mitä syvemmälle rakenteeseen mennessä kosteusliikkeet tasoittuivat. Wufi-Liitteissä tarkemmin simuloinnista (liite 1, 2 ja 3).

4.4.2 Pintakäsittely

Eräät CLT-valmistajat suosittelevat, että rakenteessa käytetään puuverhousta arkkitehtuuriin ja kaavaan vedoten. Useimmilla valmistajilla pintalamelli on pintapuuta, joka ei kestä säärasituksia läheskään yhtä hyvin kuin sydänpuu. Minun ja opiskelutoverini Hannu Tuhkasen näkemys on, että ulkoverhous asennetaan tarvittaessa myöhemmin. Ulkopinnan voisi jättää karkeaksi eli ei hiottuksi. Hiomattomuudella ulkopinnan maalille saadaan parempi tarttuvuus ja kustannuksiin myös säästöä. Ulkonäöllisestikin se voisi olla parempi ratkaisu, koska mahdolliset halkeamat pinnassa ei ponnahtaisi niin näkyviin. Ulkoseinät pohjustetaan mahdollisimman pian pystytyksen jälkeen. Käsittely-yhdistelmä seinässä olisi pohjuste ja tumma peittävämaali. Maalilta vaaditaan hyvää vesihöyrynläpäisevyyttä, elastisuutta ja hyvää tartuntakykyä. (Niskanen 2018.)

4.5 Kattorakenne

Rakenne toteutetaan nostokattomenetelmällä. Ristikot, jäykisteet, aluskate, ruoteet, pellitys, räystään aluslaudoitus ja päätylaudoitus tehdään anturoiden päällä ja nostetaan lohkoittain CLT-runkorakenteen päälle. Kattokokonaisuuden valmistaminen alhaalla lisää työturvallisuutta, nopeuttaa rakentamista ja tuo myös kustannussäästöjä. Lisää toteutuksesta rakennusinsinööriopiskelija Hannu Tuhkasen opinnäytetyössä.

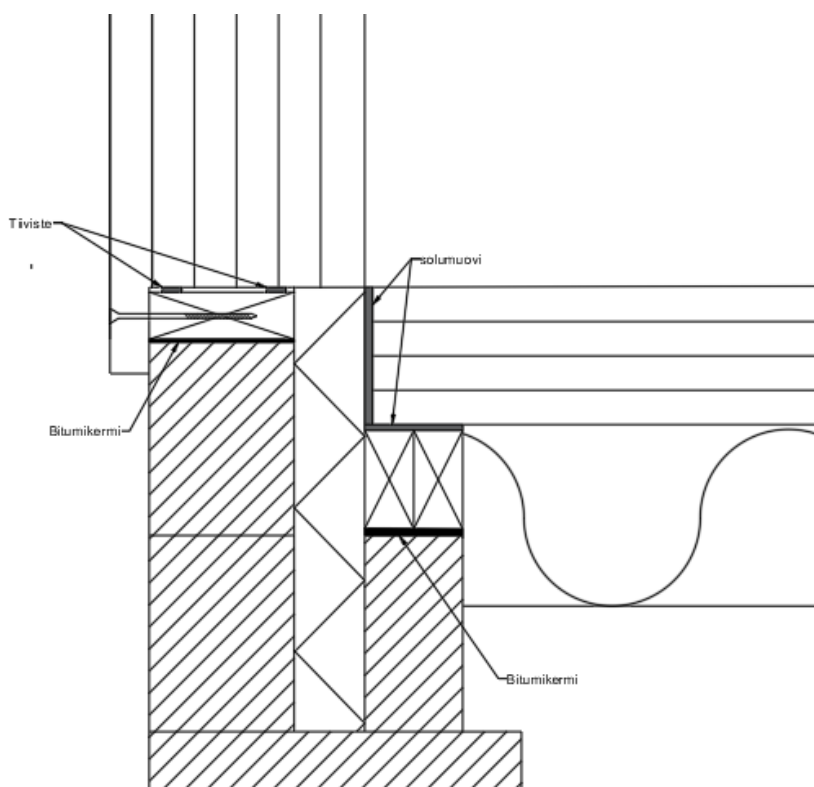
4.6 Paloluokka

Pientalon paloluokitus kuuluu yleensä paloluokkaa P3. Kantaville rakenteille ei erillisiä palonkesto-vaatimuksia P3-luokassa aseteta, vaan se rajoitetaan koon ja henkilömäärän mukaan. P3-luokassa autosuojaa ei tarvitse osastoida siihen liittyvistä tiloista esimerkiksi varastosta, mutta kuitenkin yhteisalaltaan ne saavat olla enintään 60m². Autosuojan osastointi vaatimus on EI30. Sisäpuolten pintavaatimus P3-luokassa D-s2, d2¹⁾. vähäisiä osia voidaan verhota, jotka eivät täytä vaatimuksia. Ulkopuolen ulkopinta D-s2, d2, tuuletusvälin ulkopinta D-s2. (ympäristöministeriö.fi.)

5 LIITOKSET JA KIINNIKKEET

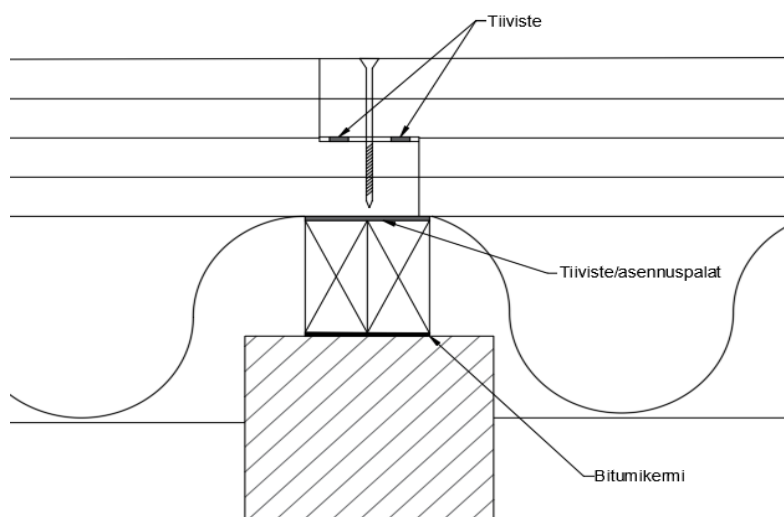
Tässä luvussa hahmottelen CLT-massiivipuutalon liitoksia. Liitoksia on sovellettu ja otettu vinkkejä valmistajilta, koska tämän tyyppiseen taloon ei ollut saatavilla valmiita detaljikuvia. Detaljikuvien liitosten sijainti näkyy osiosta alapohja 4.3 (kuva 17).

Leikkaus: **A - A**



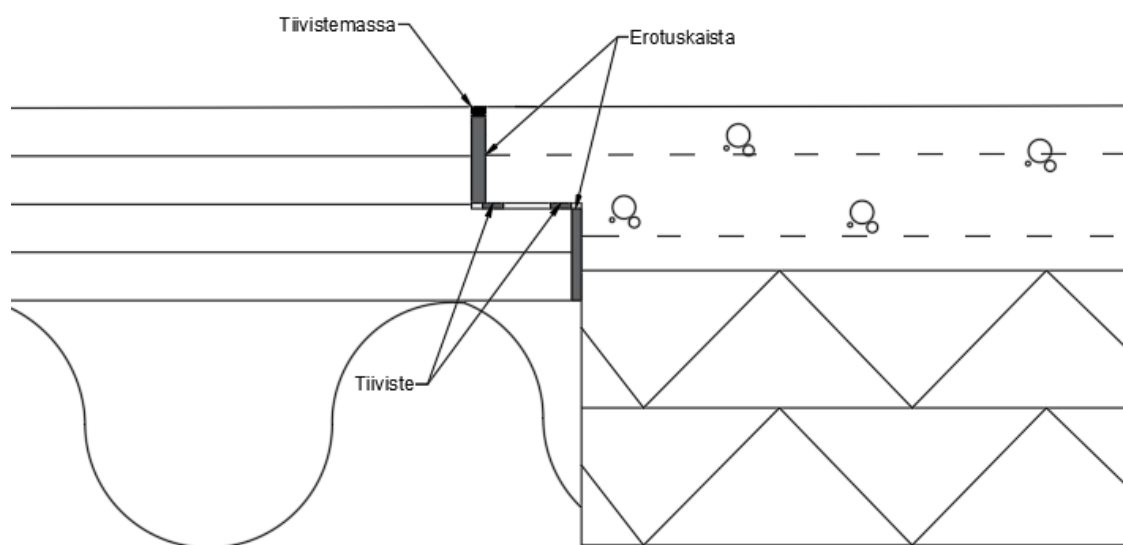
Kuva 22. Elementinliitos perustukseen (Niskanen 2018)

Leikkaus: **B - B**

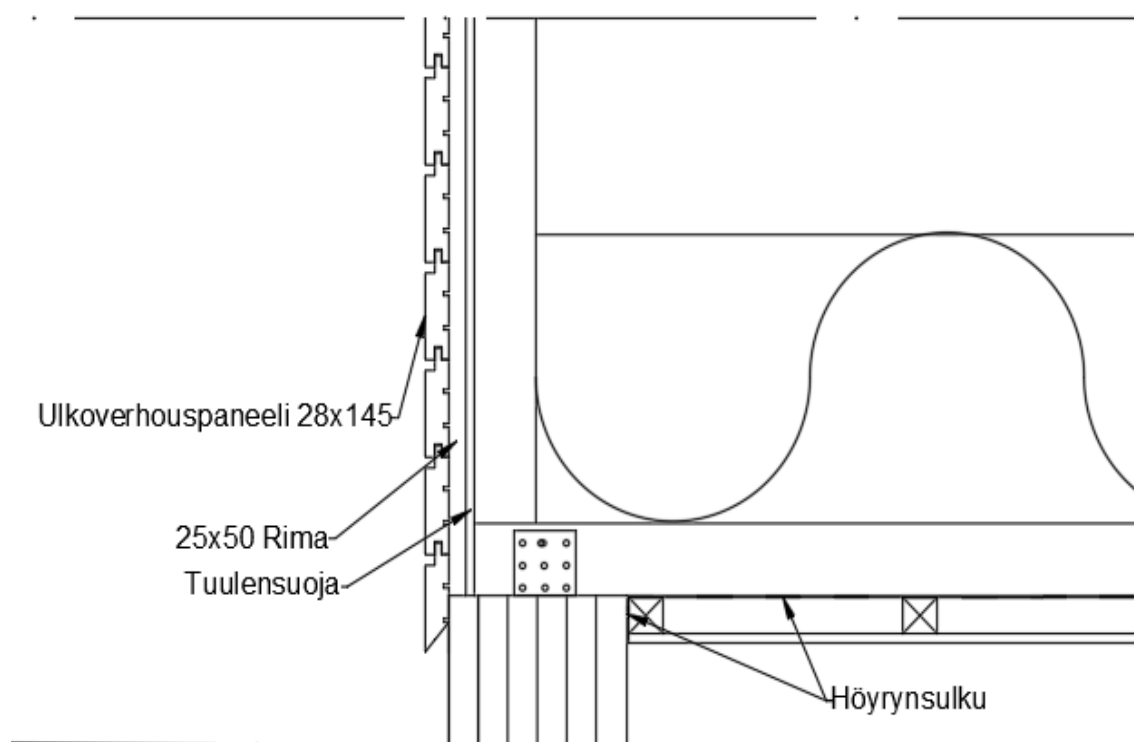


Kuva 23. CLT-välipohjaliitos (Niskanen 2018)

Leikkaus: **C - C**

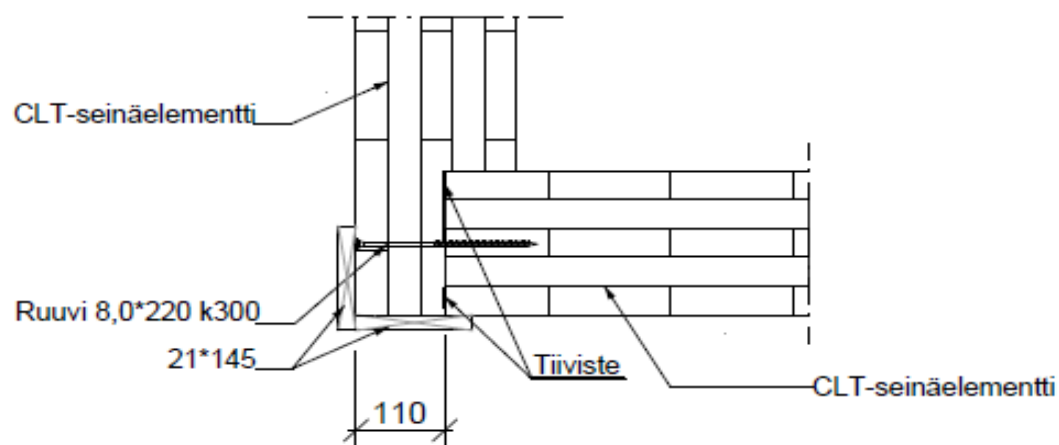


Kuva 24. Märkätilan alapohjajaliitos (Niskanen 2018)

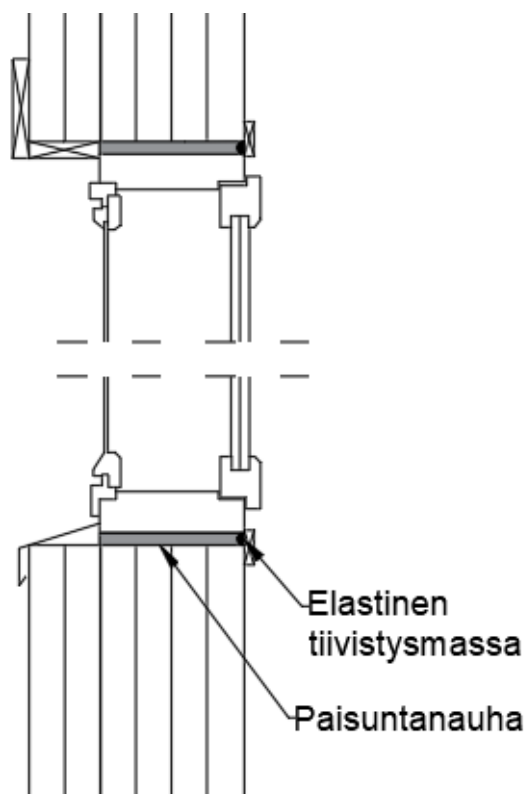


Kuva 25. Yläpohja (Niskanen 2018)

CLT-ulkonurkka



Kuva 26. Ulkonurkka (hoisko.fi)



Kuva 27. Ikkunaliitos (Niskanen 2018)

Tiivisteet ja ruuvit

Tiivisteitä ja tiivistysmassoja käytetään elementtienliitoksissa ja läpivienti kohdissa, koska ne takaavat, ettei rakenteeseen tule haitallisia ilmavuotoja, ja ne myös parantavat samalla ääneneristävyyttä. Massat ja tiivisteet ovat joustavia, johtuen puunelämisestä. (Sirkka & Pirttinen 2017, 36; kuvat 28, 29, 30 ja 31).



Kuva 28. Paisuva eristenauha (illbruck.fi)



Kuva 29. Tiivistysmassa (kiilto.fi)



Kuva 30. Sokkelikaista (isover.fi)



Kuva 31. EPD-Solukuminauhat (etra.fi)

Ruuveiksi valitaan kyseiseen liitokseen soveltuva ruuvi ja varmistetaan liitoksen puhtaus, ettei liitokseen ei ole jäänyt purua tai muuta ylimääräistä (Sirkka & Pirttinen 2017, 36; kuvat 29 ja 30).

PAROC XFW 003**PAROC XFM 005****PAROC XFS 002**

Kuva 32. Kiinnikkeet (Paroc.fi)

RUUVILIITOKSET ITSEPORAUTUVILLA PUURAKENNERUUVEILLA**OSAKIERRE**
Sitkeyttä**TÄYSKIERRE**
Jäykkyyttä**KAKSOISKIERRE**
Jäykkyyttä**PUU-BETONI**
LIITTORAKENNE

Kuva 33. Puurakenneruuvit (Rothoblaas 2015, 8)

6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli saada lisätietoa CLT-massiivipuun käytöstä vaipparakenteissa. Itselleni työ antoi paljon mielenkiintoista tietoa CLT-rakentamisesta. Haasteena oli kuitenkin löytää tarkempaa tutkimustietoa luotettavista tietolähteistä. Tutkimustietoja etsiessäni löysinkin mielenkiintoisia tutkimuksia ja muita aineistoja. Opinnäytetyöhöni valikoin tunnettuja ja arvostettuja tietolähteitä.

Työtä tehdessäni oli tarpeellista perehtyä syvemmin puun ja CLT:n materiaaliominaisuuksiin. Huomasin melko nopeasti, että minun täytyy myös syventyä enemmän fysiikanlakeihin. Näiden asioiden yhteen nitoutuminen alkoi pikkuhiljaa ja palaset alkoivat loksahdella paikoilleen. Lyhykäisyydessään tiivistäisin siten, että puumateriaalien suunnitteluratkaisut ja rakentamisvaiheen toiminnot ovat perusta onnistuneelle puurakentamiselle.

Esimerkkitalon avulla puntaroin työssäni CLT-massiivipuutalon järkevyyttä. Mielestäni CLT-massiivipuuta ilman lisälämmöneristettä toimii turvallisena ja varteen otettavana vaihtoehtona pientalotuotannossa. Tämän tyyppisiä rakennuksia ei ole paljoa vielä toteutettu ja tutkimustietoa varsin vähän saatavissa. Lähimpänä CLT-massiivipuorakennetta on lamellihirsi, koska periaatteessa se on sama materiaali ja myös samoja liimoja käytetään CLT:ssä. Ainoana erona on, että hirsien välisiä saumoja ei ole ja painuminen on huomattavasti vähäisempää.

Vaipparakenteiden valmistaminen kuivissa sisätiloissa takaa, ettei ylimääräistä kosteutta pääse kertymään rakentamisen aikana rakenteisiin. Työmaatekniikan osalta CLT-massiivipuuelementtien asennus on varsin nopeaa, koska tehtaan työstöt ovat mittatarkkoja ja liitokset yksinkertaisia. Opinnäytetyön kaltaisen toteutustavan etuna on rakennuksen saaminen nopeasti säältä suojaan, ja myös työvaiheita jää pois.

Tulevaisuudessa uskon, että CLT tulee yleistymään pientalorakentamisessa. Tätä ovat mielestäni jarruttaneet vähäinen markkinanäkyvyys, asiantuntijoiden vähyys ja hieman kalliimmat rakennuskustannukset. CLT:n etuina näkisin Terveellisyyden ja ekologisuuden. Lisäksi arkkitehtuurisesti CLT pientalon rakenteissa antaa uusia ulottuvuuksia .

LÄHTEET

BJÖRKHOLZ, Dick 1997. Lämpö ja kosteus - Rakennusfysiikka 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy

cdm.fmi.fi. Maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-02] Saatavissa: http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-content/documents/acclim_ltila_sadeskenariot_verkko.pdf

Clt.info.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-11] Saatavissa: <http://www.clt.info/clt-surface-qualities/>

DUNKEL, Harry 2016. Rakennusfysiikka [opetusmateriaali]. Kuopio Savonia-ammattikorkeakoulu.

etra.fi. EPD-solukuminauha [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-21] Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/fi/g19561227/solukuminauhat>

Glued laminated Timber Association [verkkoaineisto]. 2014. [Viitattu 2018-02-21] Saatavissa: http://www.glulam.co.uk/principalChoices_adhesives.htm

HELAMO Markku 2014. CLT-Runkoelementtienvalmistus [verkkoaineisto]. Kiintopuu [viitattu 2018-02-21] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-runkoelementti-info-20.5.14.pdf>

hengityслиitto.fi. Formaldehydi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-22] Saatavissa: <https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/kaasumaiset-epapuhautdet/formaldehydi>

HIRSITALON SUUNNITTELUPERUSTEET 2012. Hirsitaloteollisuus HTT RY 4/2012 [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-21] Saatavissa: <http://www.aihkitalot.fi/wp-content/uploads/2016/05/Hirsitalon-Suunnitteluperusteet.pdf>

hoisko.fi. Liittymädetaljeja [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: http://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2017/08/HOISKO_detalj_8_2017-1.pdf

hometalkoot.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-29-01]. Saatavissa: <http://hometalkoot.fi/file/15915.pptx>

illbruck.fi. Tiivistet [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: https://www.illbruck.com/fi_FI/tuotteet/tuotehaku/

ilmatieteenlaitos.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-25] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>

Isover.fi. Sokkelikaista [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: <https://www.isover.fi/tuotteet/isover-varior-sokkelikaista>

KARTTUNEN Tero, VENÄLÄINEN Minna, LEPISTÖ Tapio, PARTANEN Markku, DUFVA Kari 2014. Liimaliitosten koulutuksen nykytila ja kehitys teknologiateollisuuden eri sovelluksissa Mikkelin ammattikorkeakoulu. vapaamuotoisia julkaisuja [viitattu 2018-02-22] Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/85961/URNISBN9789515884701.pdf;jsessionid=546FD297E06B9A0F40AA6932BE6A9EA2?sequence=1>

KOKKO, Erkki, OJANEN, Tuomo, SALOVAARA, Mikael, HUKKA, Antti, VIITANEN, Hannu. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Espoo: VTT [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-20] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1991.pdf>

KOSTEUS RAKENTAMISESSA. Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2 opas.1999. Helsinki: Ympäristöministeriö [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-25] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maan kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

luke.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-08] Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/>

LYLYKANGAS Kimmo, ANDERSSON Albert, KIURU Jari, NIEMINEN Jyri, PÄÄTALO Juha 2015. Rakenteellinen Energiatehokkuus-opas [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-08] Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf

MERIKALLIO, Tarja. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-05] Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/486338/dd8be92a-b157-4416-9c56-2a761d6b9c65>

MYLLY, Martti. 2016. CLT-rakentamisen haasteet ja mahdollisuudet [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-19] Saatavissa: <http://www.digipolis.fi/media/files/hankkeet/puuket/clt-kehitysnakymia-10.10.2016.pdf>

NIEMINEN Jyri, KOUHIA Ilpo, OJANEN Tuomo, KNUUTTI Antti 2013. Kosteusteknisesti toimiva korjausrakentamisen periaateratkaisuja [verkkoaineisto] Espoo: VTT. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: <http://www.hometalkoot.fi/file/15846.pdf>

NISKANEN, Teemu 2018. Tuulikuormien jakauma [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. CLT:n laskennassa käytettyjä lämmönläpäisykertoimia [kaavio]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Alapohja [Kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Elementtiliitos perustukseen [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. CLT-välipohjaliitos [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Märkätilan alapohjaliitos [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Seinään vaikuttavat voimat [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Yläpohja [Kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NISKANEN, Teemu 2018. Ikkunaliitos [kuva]. Sijainti: Kuopio tekijän sähköiset arkistot.

NYKÄNEN, Esa, HÄKKINEN, Tarja, KIVINIEMI, Markku, LAHDENPERÄ, Pertti, PULAKKA, Sakari, RUUSKA Antti, SAARI Mikko, VARES Sirje, CRONHJORT, Yrsa, HEIKKINEN, Pekka, TULAMO, Tomi, TIDWELL, Philip 2017. Puurakentaminen Euroopassa. Tampere: VTT [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-21] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T297.pdf>

oamk.fi 2004. Kosteus [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-27] Saatavissa: http://www.teknikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf

Paroc.fi. Ruuvit ja aluslevy [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tuulettuvien-ulkoseinien-asennustarvikkeet>

PIRTTINEN, Valtteri 2016. CLT-koetalon rakennusfysikaaliset tutkimukset. Julkaisussa: AHORANTA, Tytti, ALAKUNNAS, Tuomas, AUTIONIEMI Juha, NIEMELÄ, Antti, PEISA, Kari, VATANEN, Mikko. Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-10] Saatavissa: <http://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=4fb70156-2bf1-49af-b466-acef959ba4b9>

Puuinfo.fi 2013 Puurakenteen palomitoitus [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-20] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puurakenteen-palomitoitus/puurakenteenpalomitoitus.pdf>

Puuinfo.fi. Puutavaran kosteuspitoisuus [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-2018] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/node/1503>

Puuinfo.fi 2011. CLT - ristiin liimattu massiivipuulevy. Tekninen tiedote [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-20] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>

puuinfo.fi. Ekologisuus [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-08] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/node/1505>

puuinfo 2014. Jäykistäväseinä [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-13] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/esimerkkilaskelmat/23esimerkkilaskelmajaykistavacit-seina.pdf>

puuproffa.fi. Liimat [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-23] http://www.puuproffa.fi/Puu-Proffa_2012/fi/liimaus/liimat

PUUTAVARA JATKOJALOSTEET. RT 21-11289 Helsinki: Rakennustieto Oy. marraskuu 2017. [viitattu 2018-03-21]. Saatavissa: <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/24181#page=1>

PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJE. RIL 205-1-2017. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJE. RIL 205-1-2017 lisäohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RAKENNUSMATERIAALIEN JA -OSIEN KESTÄVYYS 1991. RIL 184. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RAKENNUSTYÖMAAN SÄÄSUOJAUS. RATU S-1232. 2013. Helsinki: Rakennustieto [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-25] saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/fi/index/talo-ratu.html.stx>

ROTHOBLAAS 2015. Ruuviliitokset itseporautuvilla puurakenneruuveilla [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: http://2015.puupaiva.com/sites/default/files/Sali%20C_Nas-kali%20Jarno_Liitokset%20ja%20akustiikka%20CLT-rakenteissa.pdf

SIIKANEN, Unto. 2016 Puurakentaminen. 2.painos. Helsinki: Rakennustieto Oy

SIRKKA, Antti & PIRTTINEN, Valtteri 2017. CLT-monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali. Julkaisussa: VATANEN, Mikko, AHORANTA, Tytti [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-27] Saatavissa: <http://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=c6498ebb-ea39-4048-9580-fc4f82b8ce00>

Stora Enso CLT 2017. Puu - maailman vanhin myös modernein rakennusmateriaali [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-25] Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Image-brochure-FI.pdf>

Stora Enso 2012. Building physics. Thermal protection [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-13] Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Thermal-protection-EN.pdf>

Stora Enso 2015. Technical folder [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-11] Saatavissa:

<http://www.clt.info/clt-technical-folder/>

tiivistalo.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-26] Saatavissa: http://www.tiivistalo.fi/tiivistalo_wiki/

TUHKANEN, Hannu 2018. Pohjapiirros [Kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Alapohjalaatasto [Kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot

VALTIONEUVOSTON KANSLIA 2017. Hallituksen toiminta suunnitelma vuosille 2017-2019.

4. Biotalous ja Puhtaat ratkaisut, Kärkihanke 2, Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-08] Saatavissa: http://vnk.fi/documents/10616/4610410/Toimintasuunnitelma+H_5_2017+280417.pdf

VINHA, Juha, LAUKKARINEN, Anssi, MÄKITALO, Mikael, NURMI, Sakari, HUTTUNEN, Petteri, PAKKANEN, Tomi, KERO, Paavo, MANELIUS, Elina, LAHDENSIVU, Jukka, KÖLIÖ Arto, LÄHDESMÄKI, Kimmo, PIIRONEN, Jarkko, KUHNO, Vesa, PIRINEN, Matti, AALTONEN, Anu, SUONKETO, Jommi, JOKISALO, Juha, TERIÖ, Olli, KOSKENVESA, Anssi ja PALOLAHTI, Tuomas 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere: teknillinen yliopisto. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-15] Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/956015/vinha_ilmastonmuutoksen_ja_lammoneristyksen_lisayksen_vaikutukset.pdf

VTT 2006. Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-05-04] Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf

WOODFOCUS. Ääneneristys puutalossa [verkkoaineisto]. 2004 [viitattu 2018-3-22] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2016. Ympäristöopas. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö [verkkoaineisto]. 2016 [viitattu 2018-02-08] Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimus-opas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2018. Tasauslaskentaopas 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö [verkkoaineisto]. 2018 [viitattu 2018-04-09] Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/no-name/%7B8DA891B6-94AC-4367-9E45-D59ECED00CCF%7D/133703>

Ym.fi. lämpöhäviön tasauslaskin 2018, joulukuu 2017 [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-11] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Energiatehokkuus

LIITTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

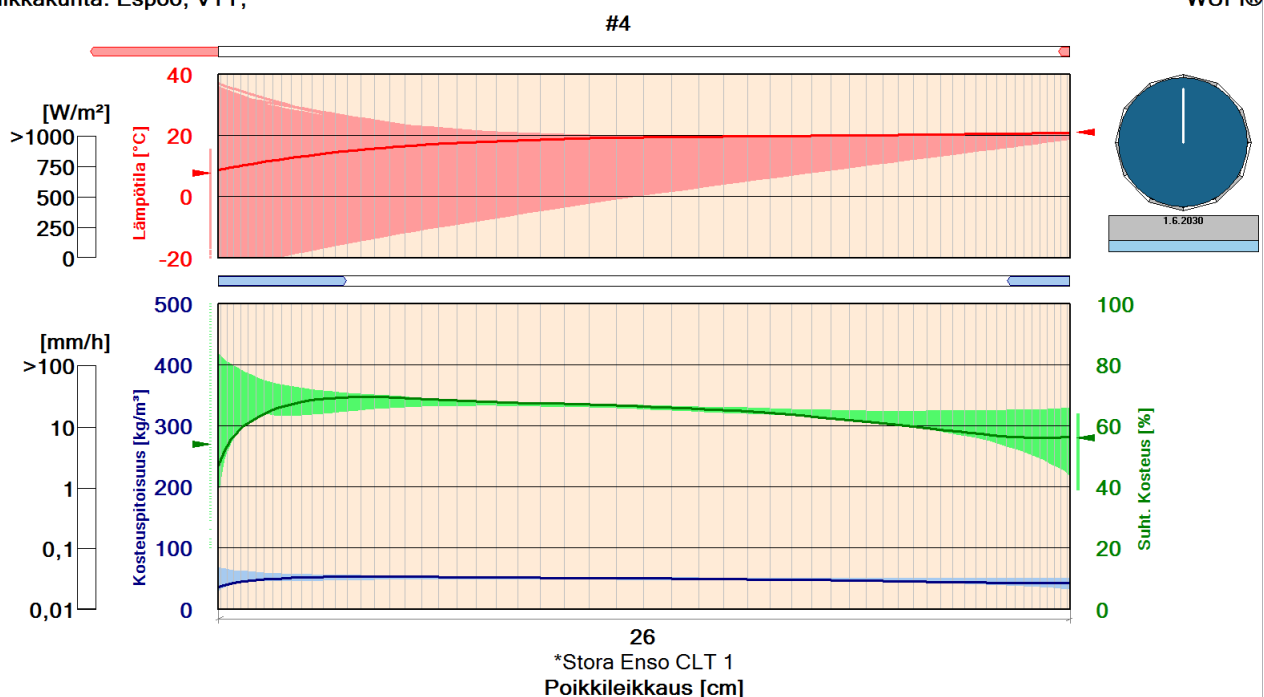
Liite 1. Wufi-simulaatio ulkoseinä

Käytössäni oli Wufi® Pro-ohjelmisto, joka on tarkoitettu yksilöteiseen lämmön- ja kosteudensiirron simulointiin rakennuksen vaipan poikkileikkauksissa.

Laskennan materiaaliominaisuudet ovat peräisin Stora Enson CLT Hampurin yliopiston diplomityöstä ja ne ovat testattu Fraunhofer instituutissa. Laskennan materiaaliominaisuudet ovat ladattu Stora Enson nettisivuilta (clt.info.fi).

Simuloinnin aloitus ajankohta 1. kesäkuuta 2018 ja loppuu 1. kesäkuuta 2030 eli kesto 12 vuotta. Simuloinnin pitkällä pituudella haen materiaaliominaisuuksien vakiintunutta käyttäytymistä. Seinän ilmansuunnaksi valitsin lounaan, koska auringon ja viistosateen rasitus on lounaissaunnalta suurta.

Paikkakunta: Espoo; VTT;

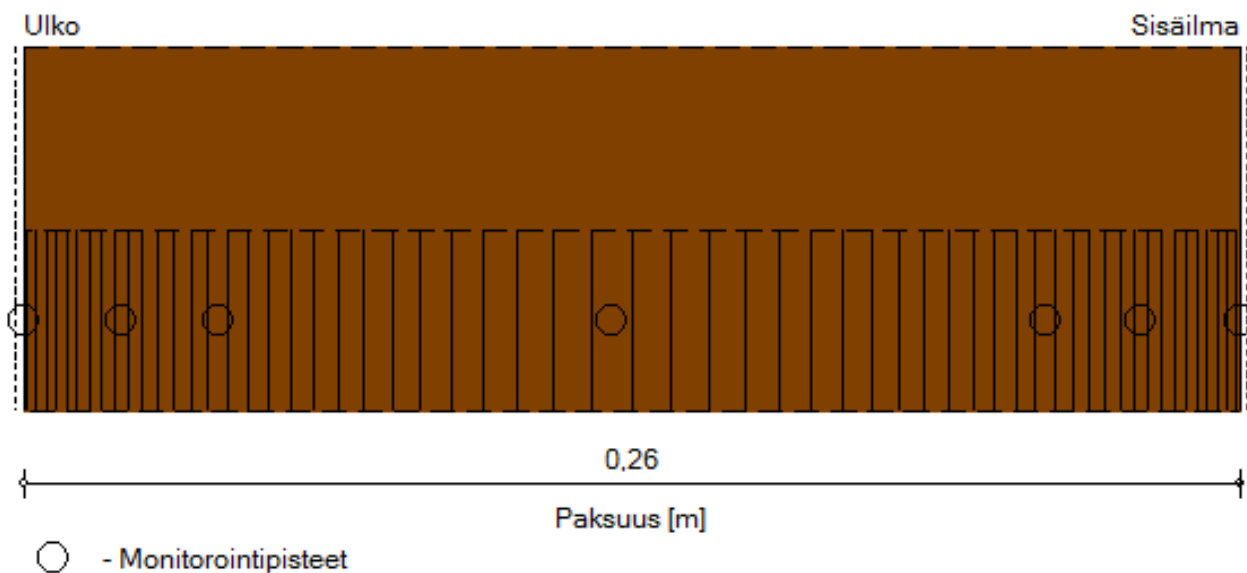


Kosteusliikkeet olivat suurimmillaan Rakenteen pintakerroksissa ja ne tasoittuvat nopeasti syvemmälle rakenteeseen mentäessä. Tästä päätellen CLT: suuri kosteuskapasiteetti estää kosteuden tunkeutumisen syvemmälle.

WUFI® Pro 5.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #4



Materiaalit:

 - *Stora Enso CLT 1 0,26 m

Sd-arvo Ulk. [m]: 0,45

Sd-arvo Sisä. [m]: 0,2

Kokonaispaksuus: 0,26 m

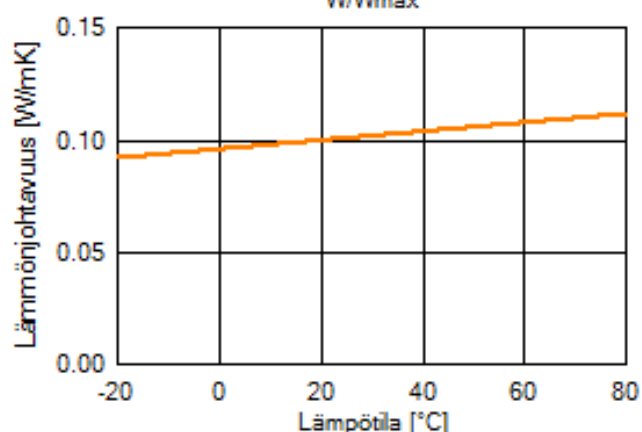
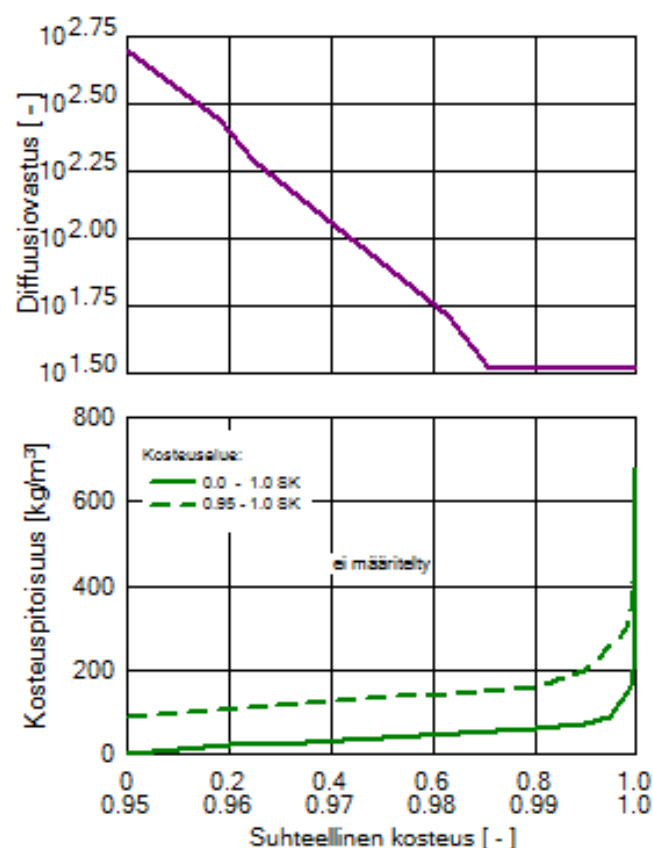
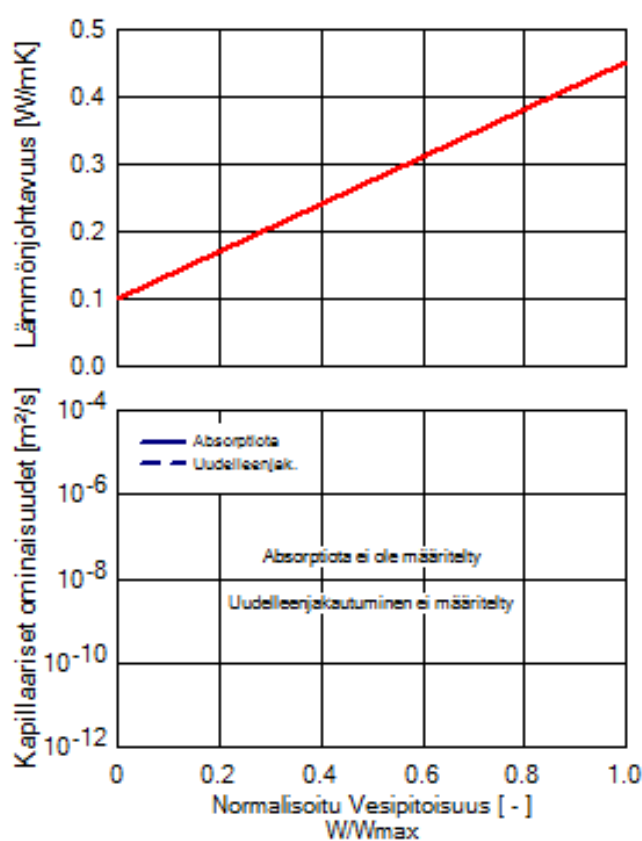
R-arvo: 2,03 m²K/WU-arvo: 0,455 W/m²K

WUFI® Pro 5.3

Materiaali: *Stora Enso CLT 1

Laskentaparametrien yhteenveto

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m³]	410,0
Huokoisuus	[m³/m³]	0,74
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	1300,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/mK]	0,098
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	500,0
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	2,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK²]	0,0002



WUFI® Pro 5.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Espoo; VTT

Ilmansuunta / Kallistuskulma: Lounas / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788

Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 21 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn		[m ² K/W]	0,04 kyllä
Sd-arvo		[m]	0,45
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Puu (kuusi):ruskeaksi maala	[-]	0,8
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Puu (kuusi):ruskeaksi maala	[-]	0,9
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kallis	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus		[m ² K/W]	0,13
Sd-arvo		[m]	0,2

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	19.3.2018 7:36:12
Laskennan kesto	1 min,35 s
Laskennan alku/loppu	1.6.2018 / 1.6.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -3,0
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 -3,16
Tase 1	[kg/m ²]	0,16
Tase 2	[kg/m ²]	0,15

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	12,48	12,62	12,38	12,98

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

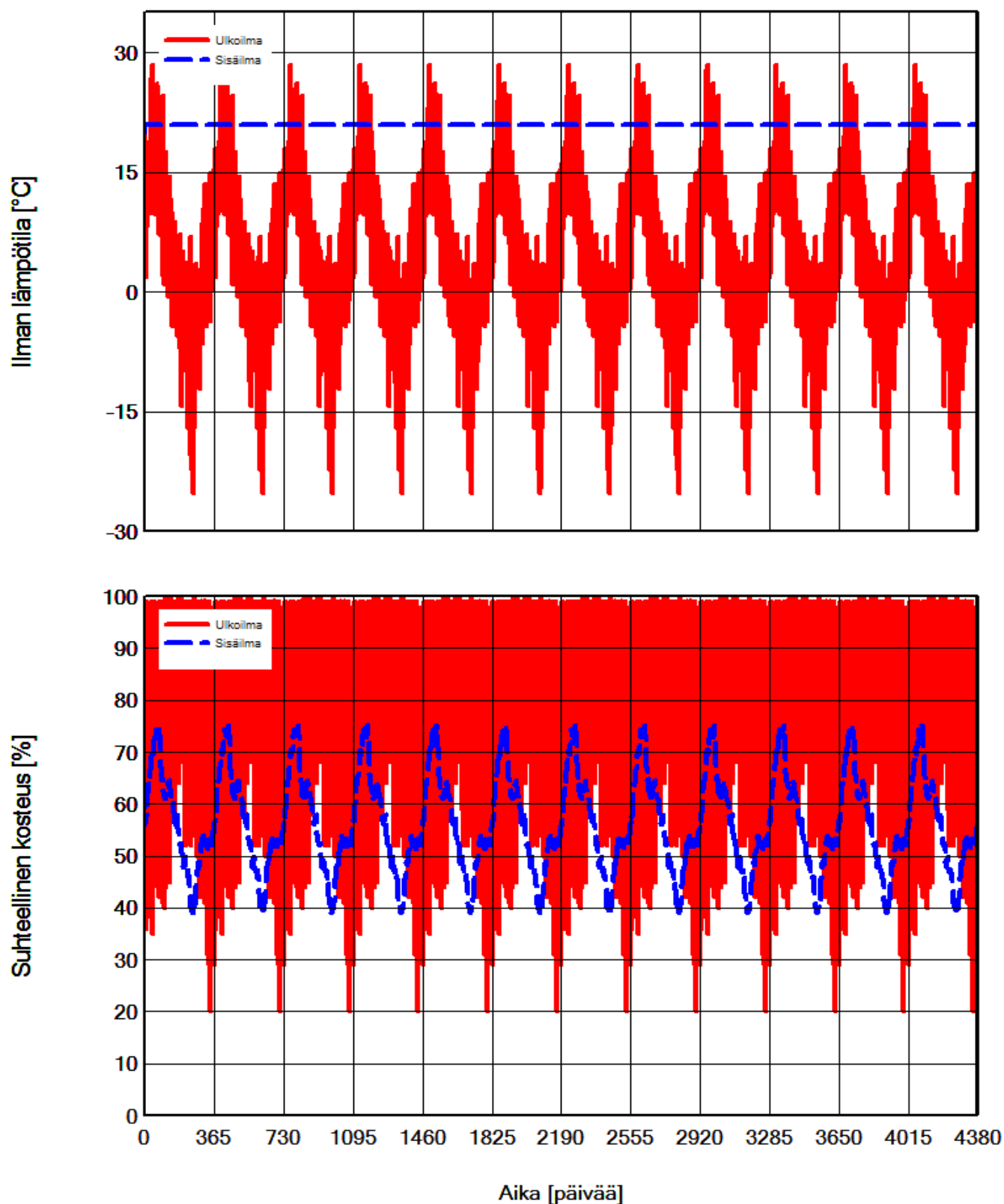
Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Stora Enso CLT 1	48,00	48,54	47,61	49,92

Virtojen aikaintegraali

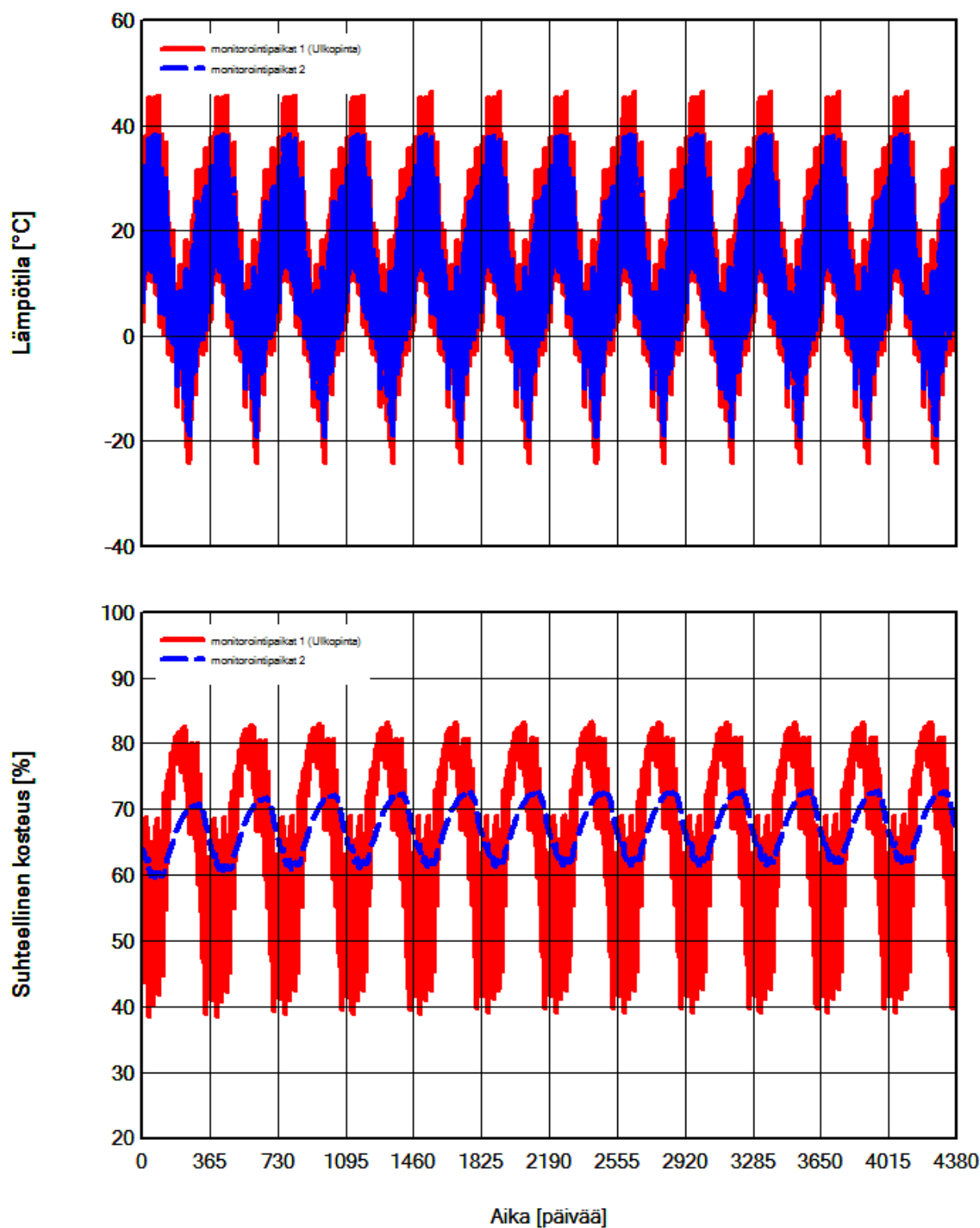
Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-2145,97
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-2147,13
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-3,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-3,15

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0



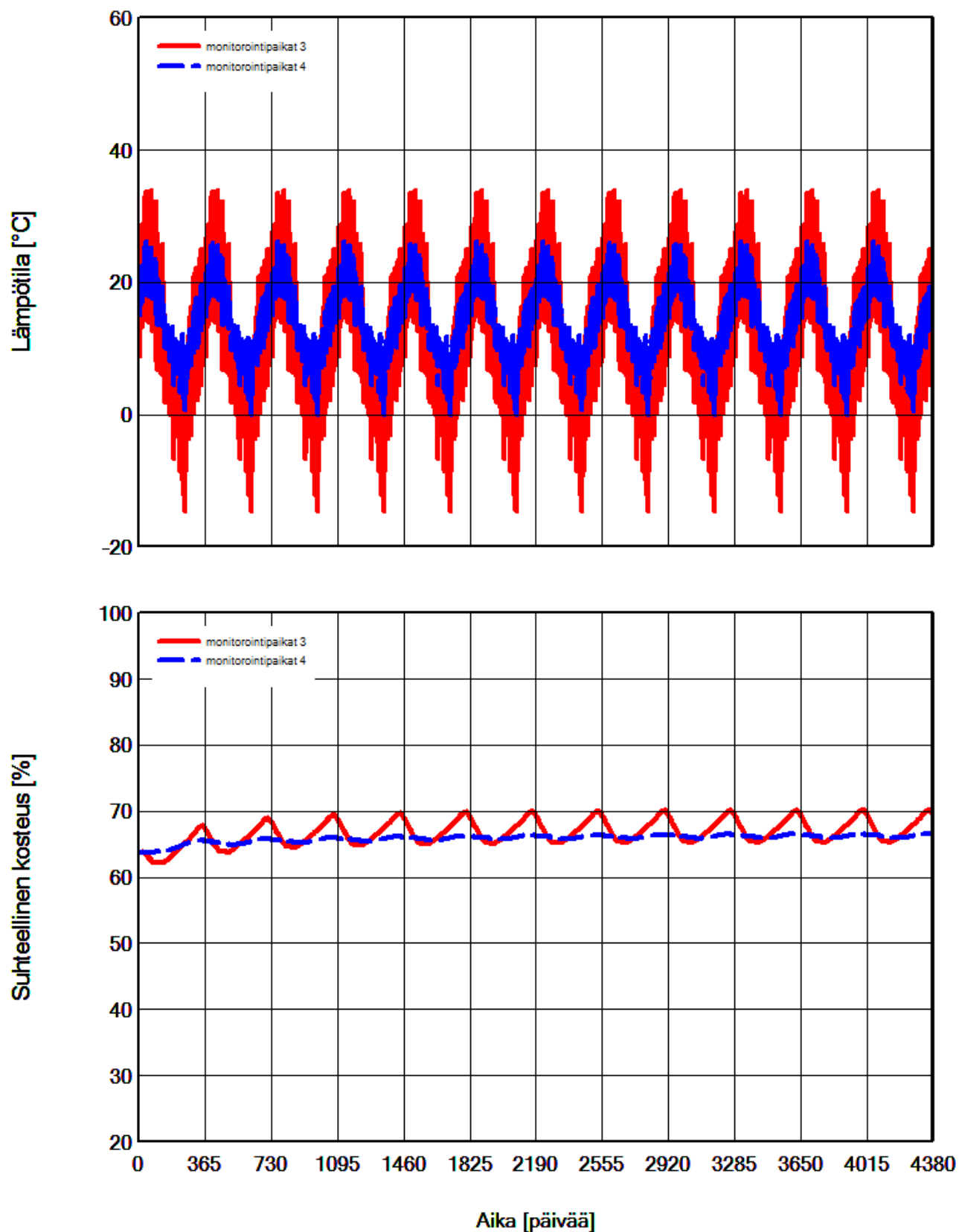
Sisäilman kosteus kasvaa kesäkaudella ja on korkeimmillaan syksyllä. Sisäilman suhteellisen kosteuden vaihtelut selittyvät pitkälle ulkoilman lämpötilasta ja kosteudesta. Talvella ulkolämpötila on suhteellisen kosteaa (RH%), mutta siihen ei mahdu paljoa kosteutta g/m^3 kohden. Ulkoilmasta johdettava korvausilma laskee sisäilman suhteellista kosteutta talvella, koska lämpimään sisäilmaan mahtuu enemmän kosteutta eli lämpimämmän ilman kyllästymiskosteus on suurempi.



Ulkopinnan kosteuden vaihtelut ovat suuria. Rasitukseen vaikuttavia tekijöitä auringon uv-säteily, viistosade ja ilman kosteudenvaihtelut vuoden aikojen mukaan.

monitorointipaikka 2, 2cm syvyydessä ulkopinnassa. RH% on noin 60-73 ja vaihtelut ovat noin 10%:n luokkaa.

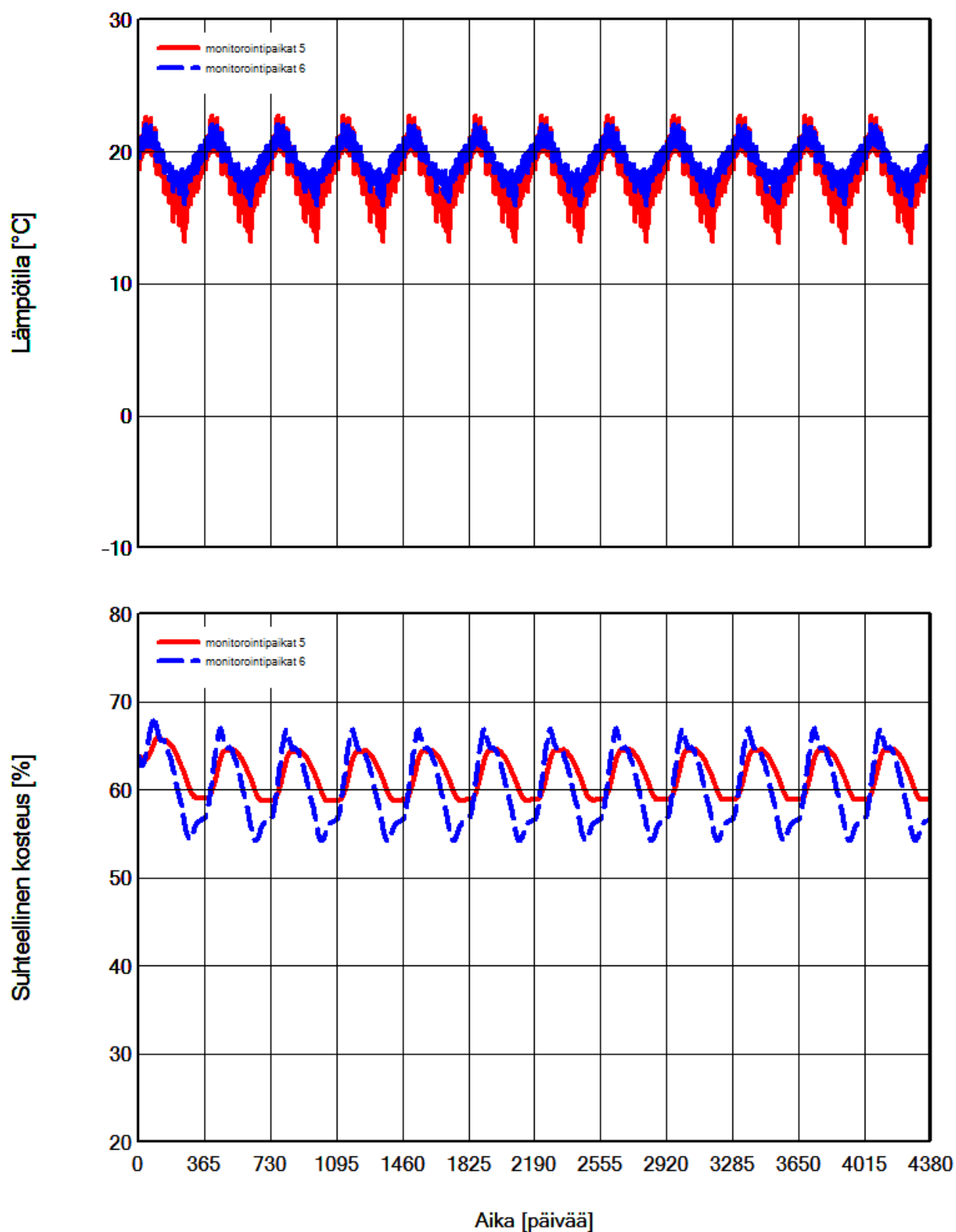
Lämpötilan suhteen ei paljoa eroa pintaan nähden, mutta kosteuden vaihtelut vähenee jo 2cm:n syvyydessä paljon. Tästä voineen päätellä, että puun suuri kosteuskapasiteetti sitoo ja luovuttaa paljon kosteutta.



monitorointipaikka 3, 4cm syvyydessä ulkopinnasta

monitorointipaikka 4, keskellä (13cm)

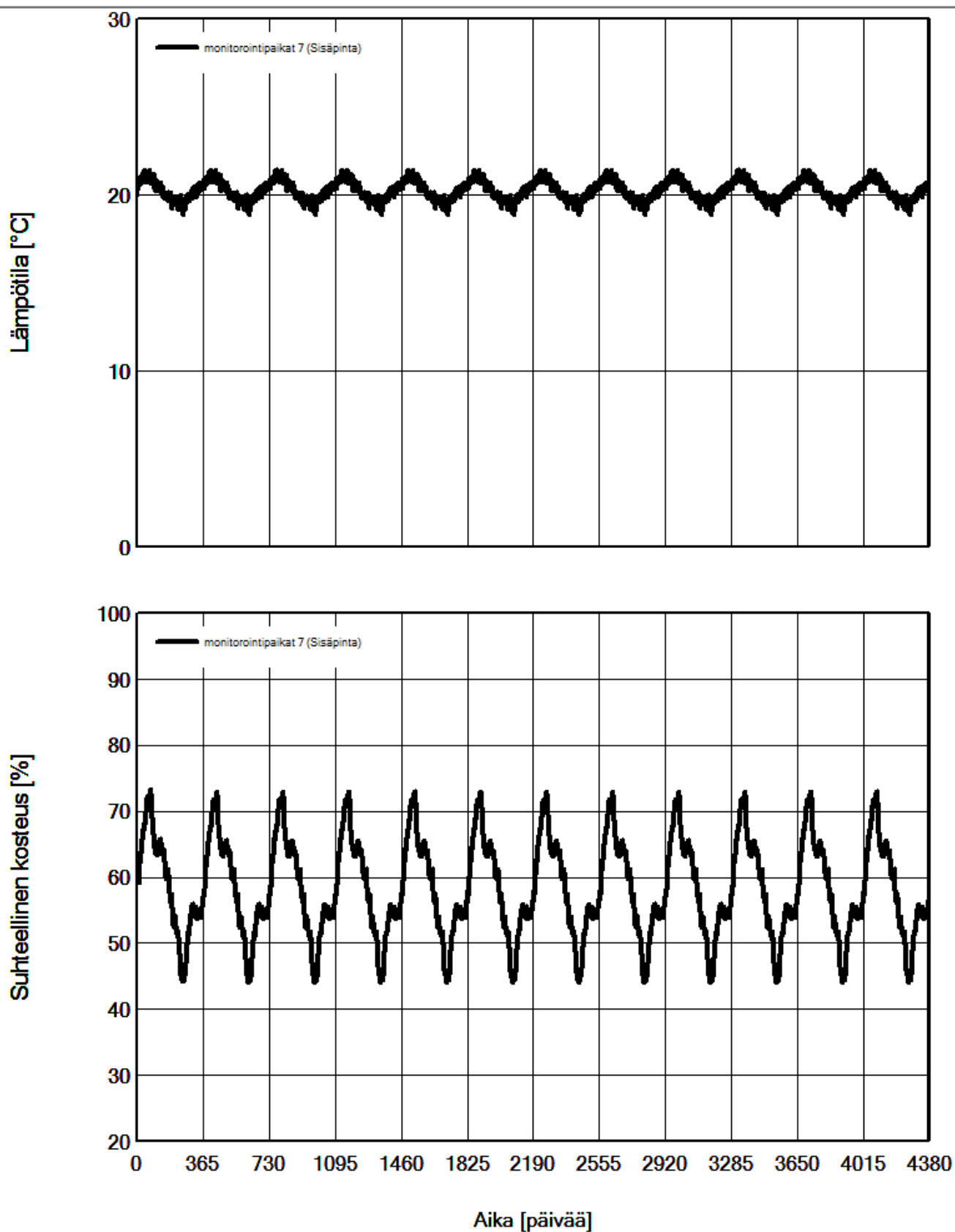
Rakenteen keskellä kosteudenvaihtelut ovat olemattomia



monitorointipaikka 5, 4cm sisäpinnasta

monitorointipaikka 6, 2cm syvyydessä sisäpinnasta

lähemmäksi siäpintaa kosteuden vaihtelut ovat suurempia, mutta vielä maltillisia RH n.55-65%



Vesihöyryä läpäisevän seinän sisäpinnan kosteusvaihtelut ovat suuria (RH 45-75%) Tämä osoittaa, että sisäpinta toimii hygroskooppisesti eli luovuttaa ja sitoo kosteutta. Kosteus ei kuitenkaan nouse normaali oloissa sisäpinnassa niin korkeaksi, että se olisi rakenteelle riski.

Liite 2. Wufi-simulaatio sisä- ja ulkopintojen käyttäytyminen

Laskenta jakso yksi vuosi, CLT:n kosteuspitoisuus otettu edellisen laskennan lopusta.

WUFI® Pro 5.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	20.3.2018 7:28:58
Laskennan kesto	0 min,8 s
Laskennan alku/loppu	1.6.2018 / 1.6.2019
Konvergoituvuuden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -0,2
Virrat s (kr,dr)	[kg/m²]	0,0 -0,08
Tase 1	[kg/m²]	-0,12
Tase 2	[kg/m²]	-0,12

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	12,62	12,48	12,48	12,82

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

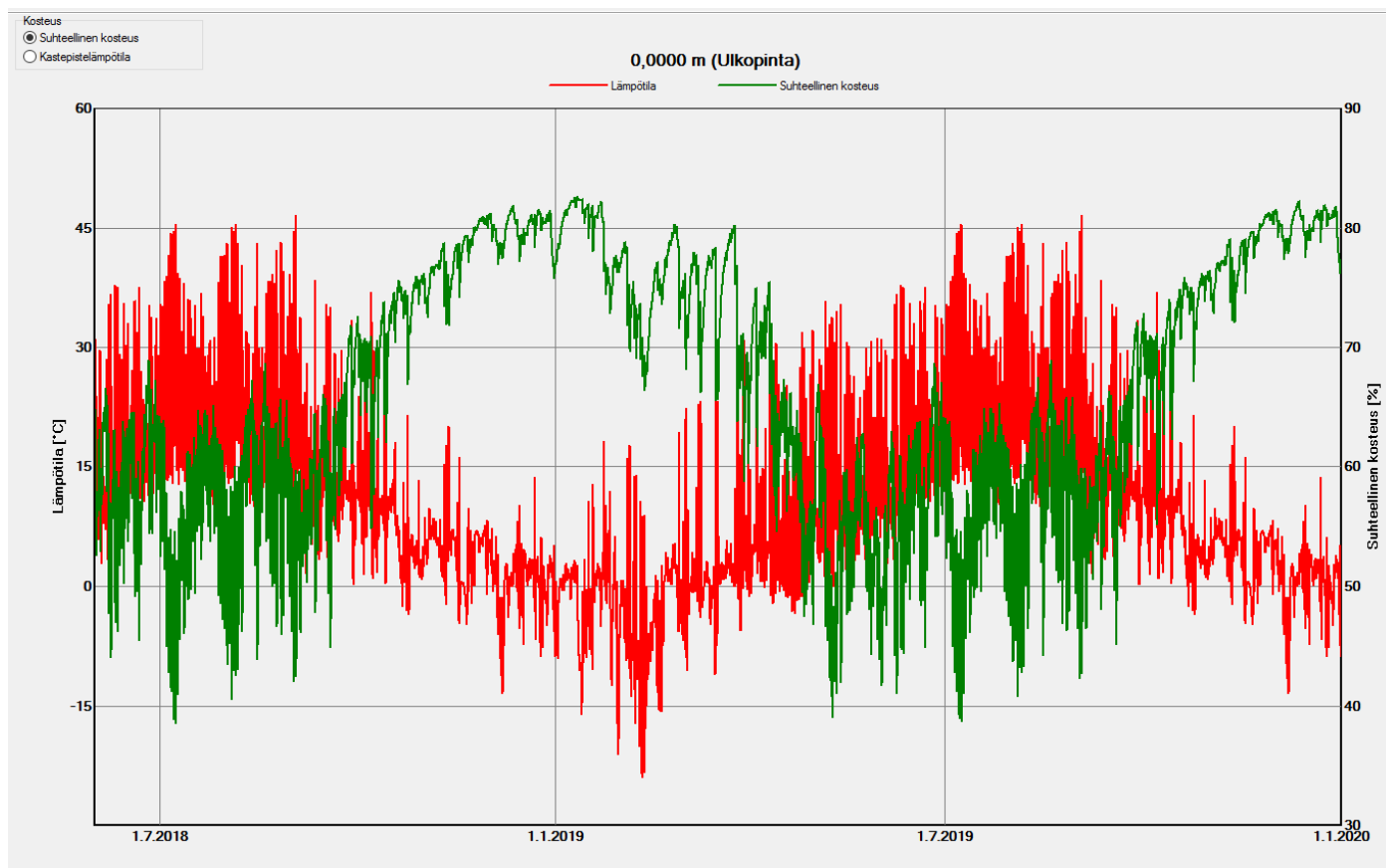
Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Stora Enso CLT	48,54	48,01	48,01	49,31

Virtojen aikaintegraali

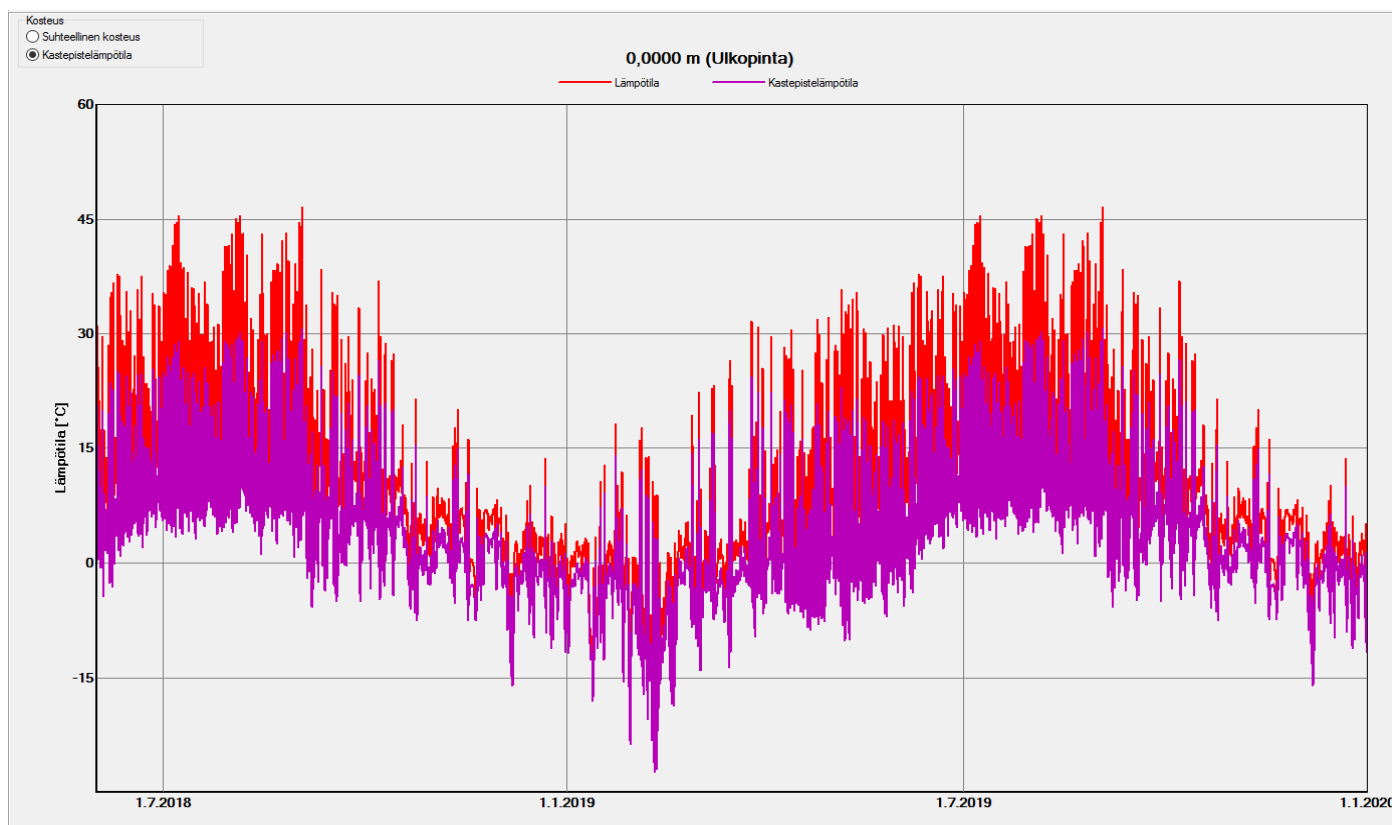
Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m²]	-178,88
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m²]	-178,63
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m²]	-0,22
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m²]	-0,08

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m²]	0,0

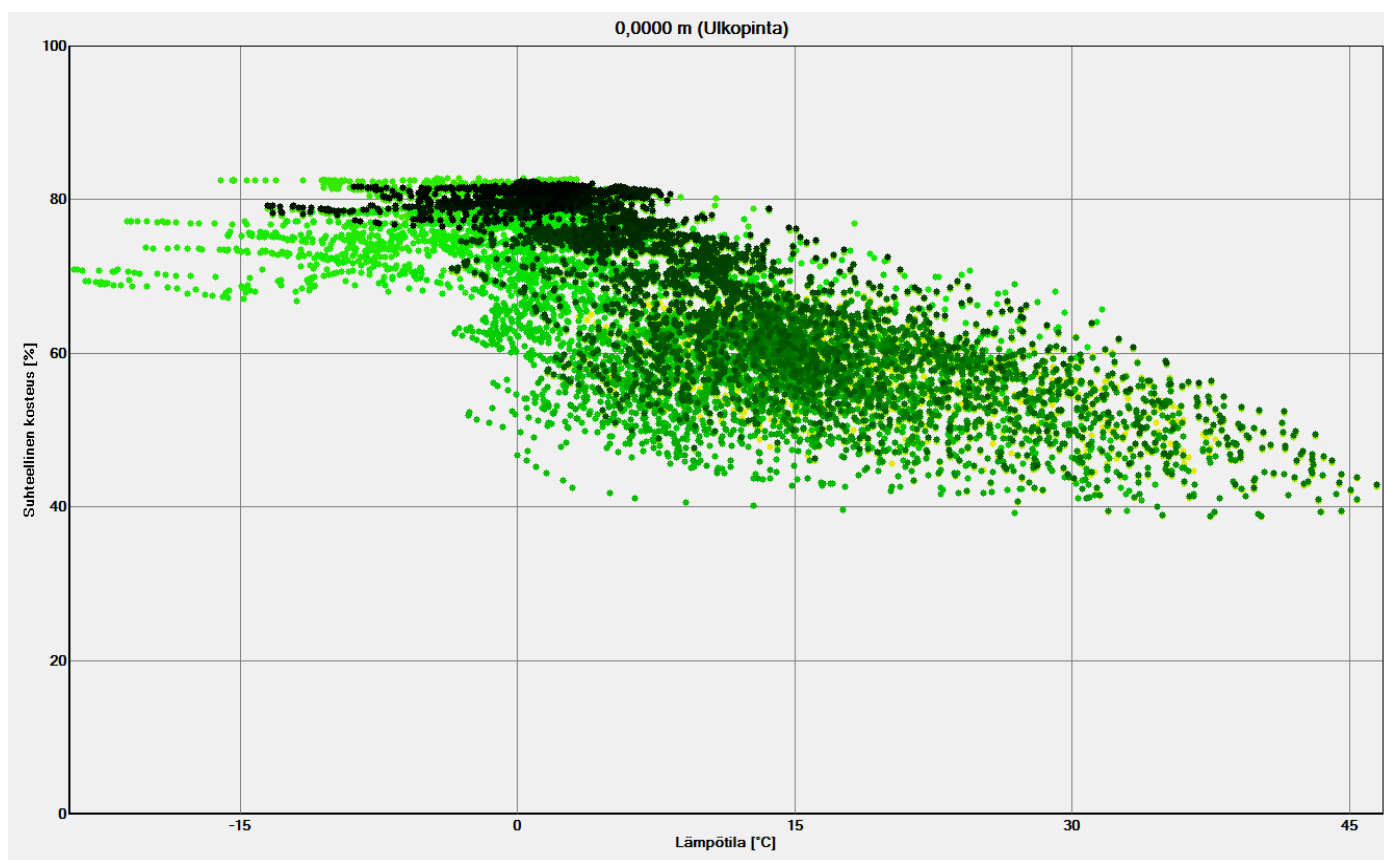


Ulkopinnan kosteudet ovat korkeimmillaan talvikuukausina ja kuivimmillaan alkukesästä alkusyksyyn. Ulkopinnalla

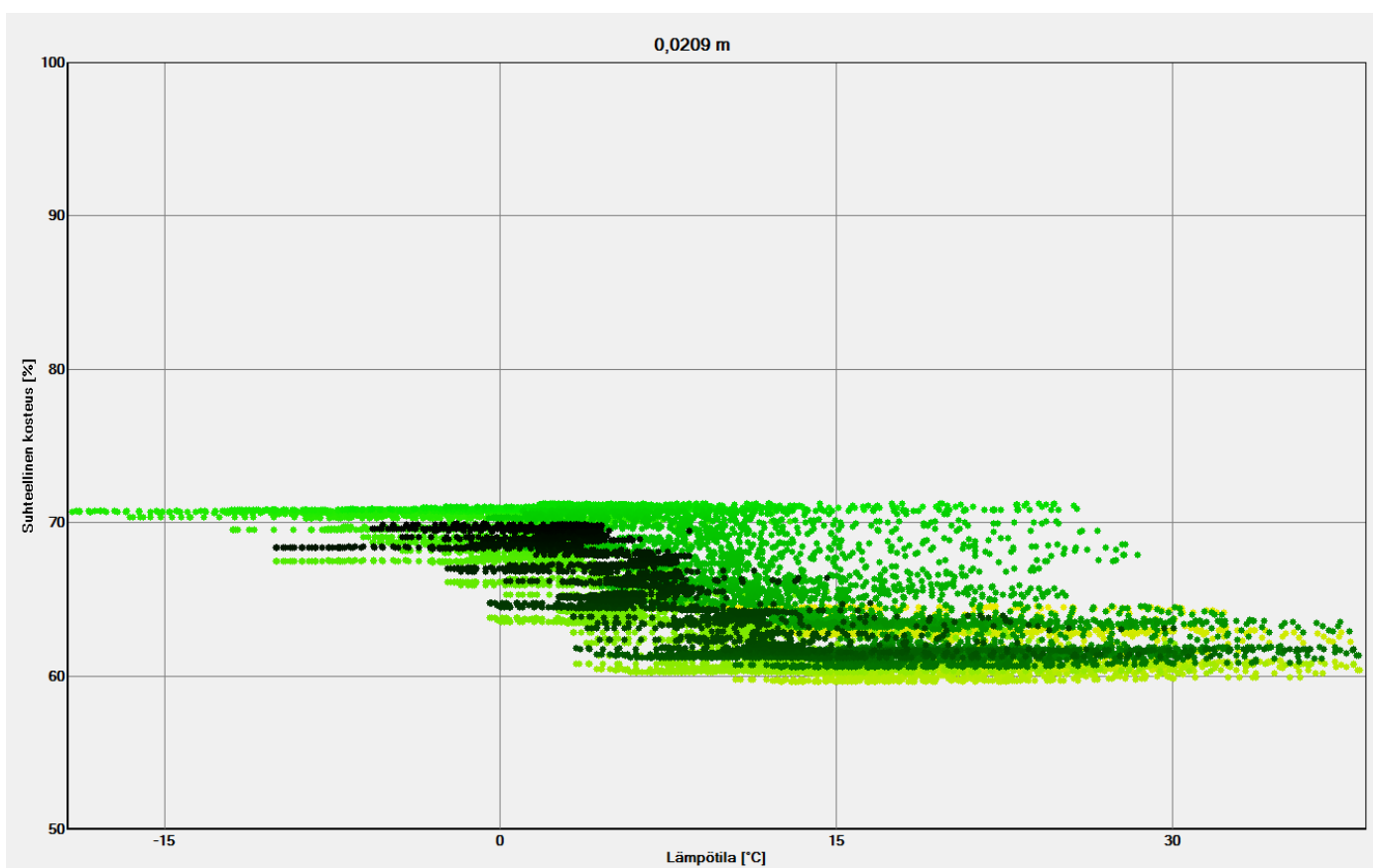


lämpötilä punaisella ja kastepistelämpötilä violetilla

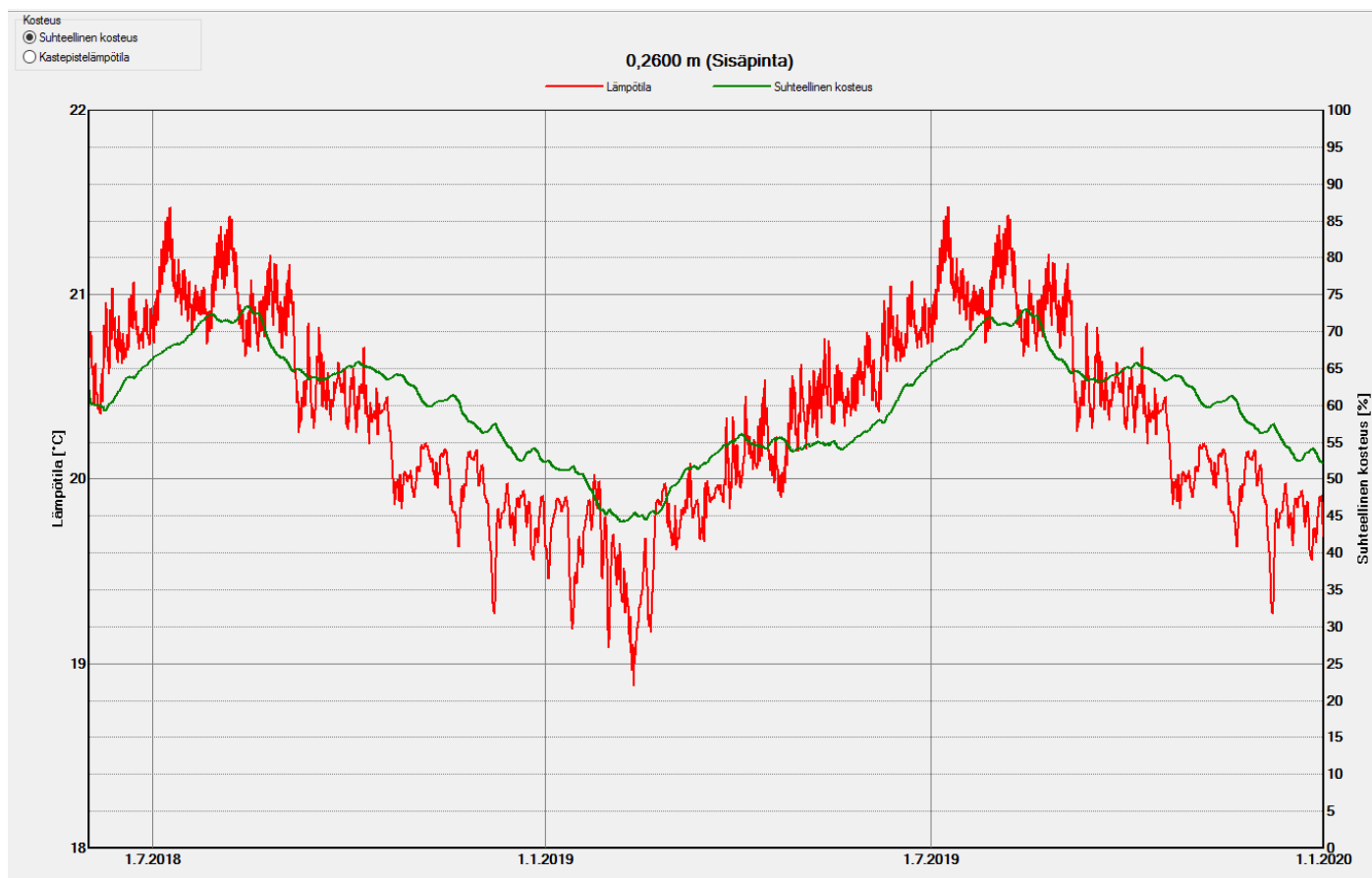
talvikuukausina olosuhteet käyvät otollisiksi mikrobien kasvulle , mutta lyhytaikainen kosteus ja lämpötilan ollessa alle 0 °C:n puu ei vaurioidu.



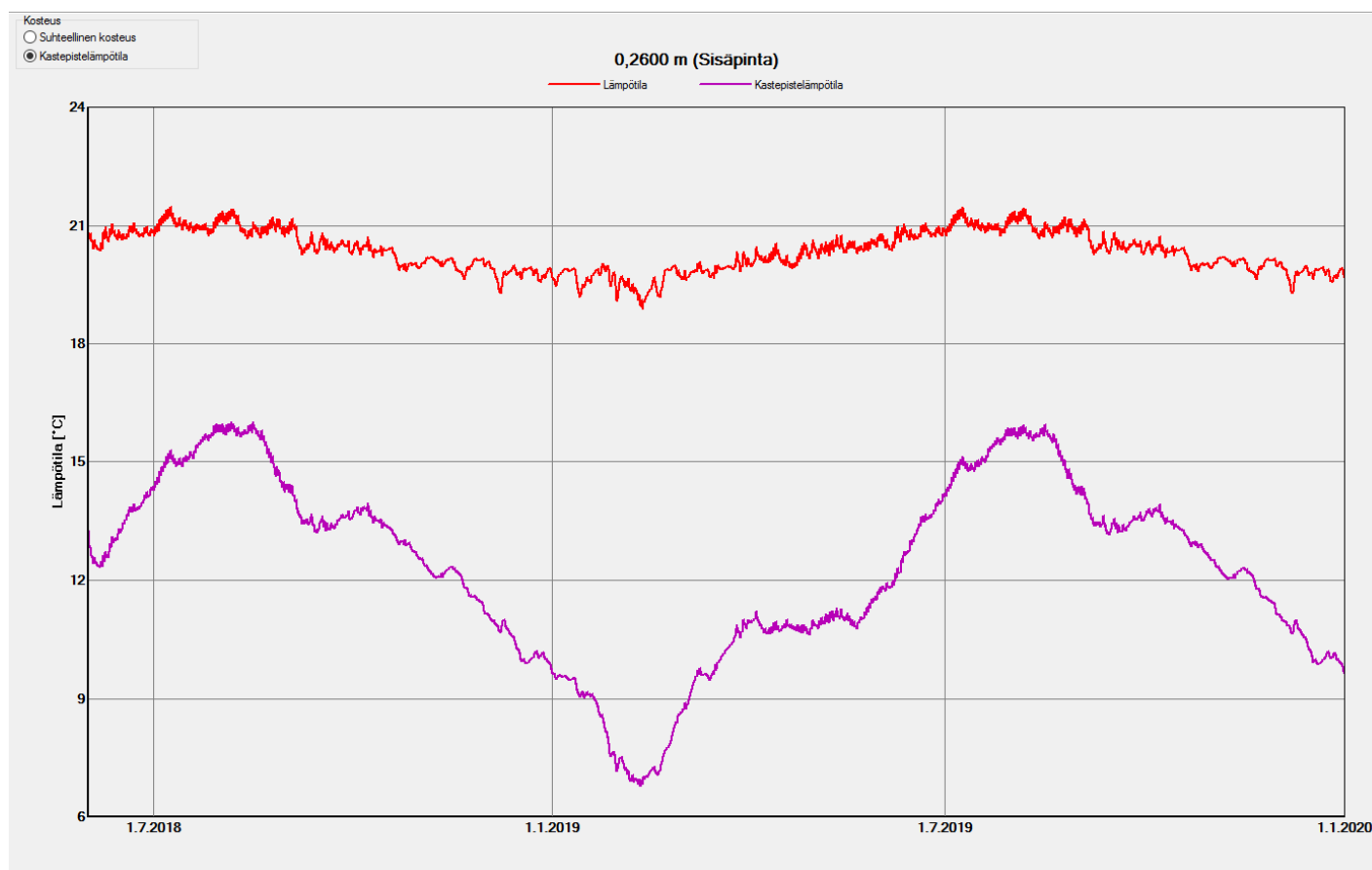
Ulkopinta, laskennasta muodostunut Pistepilvi



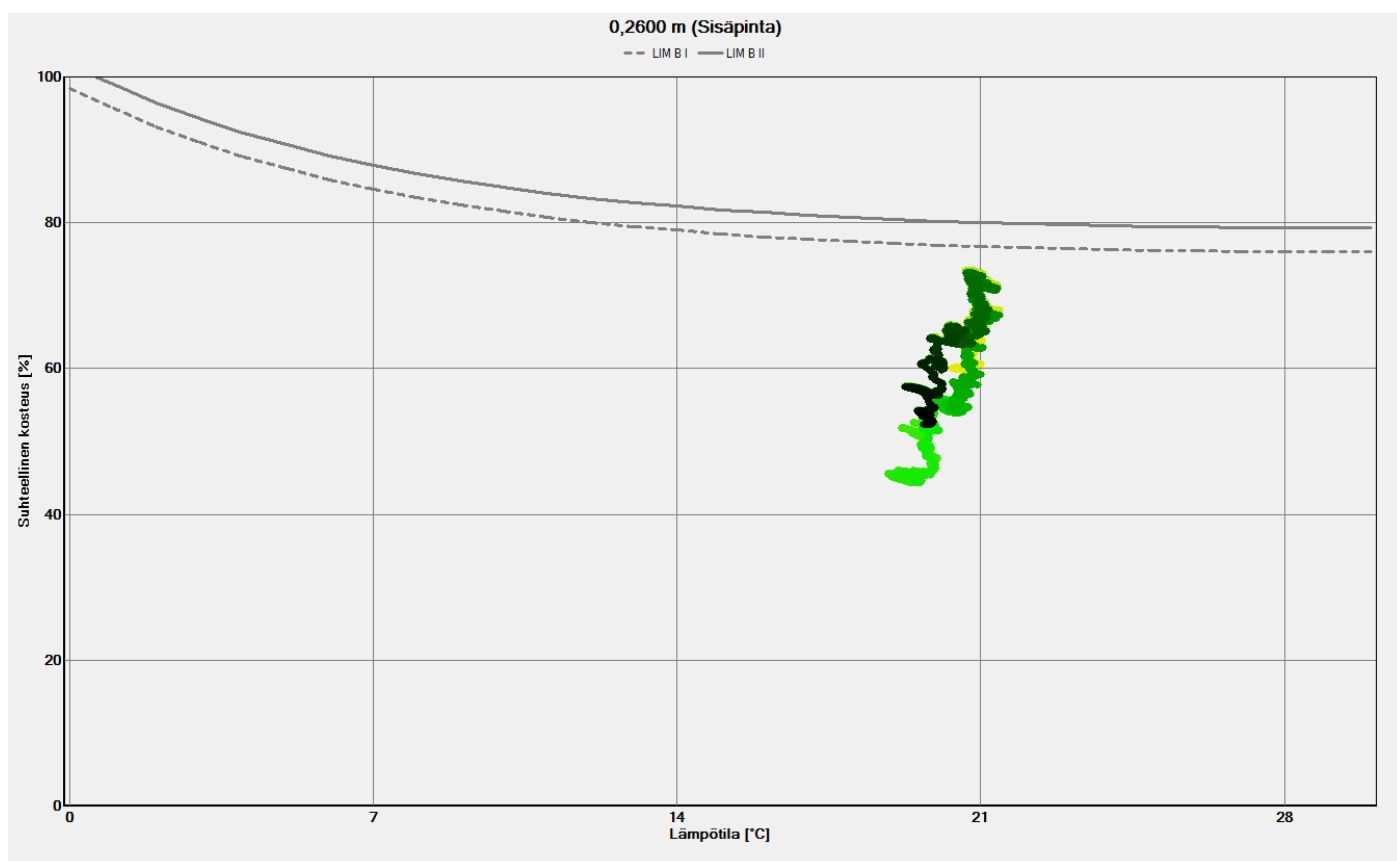
2 cm:n syvyydestä ulkopinnasta kosteuden vaihtelut pintaan nähden on paljon maltillisemmat.



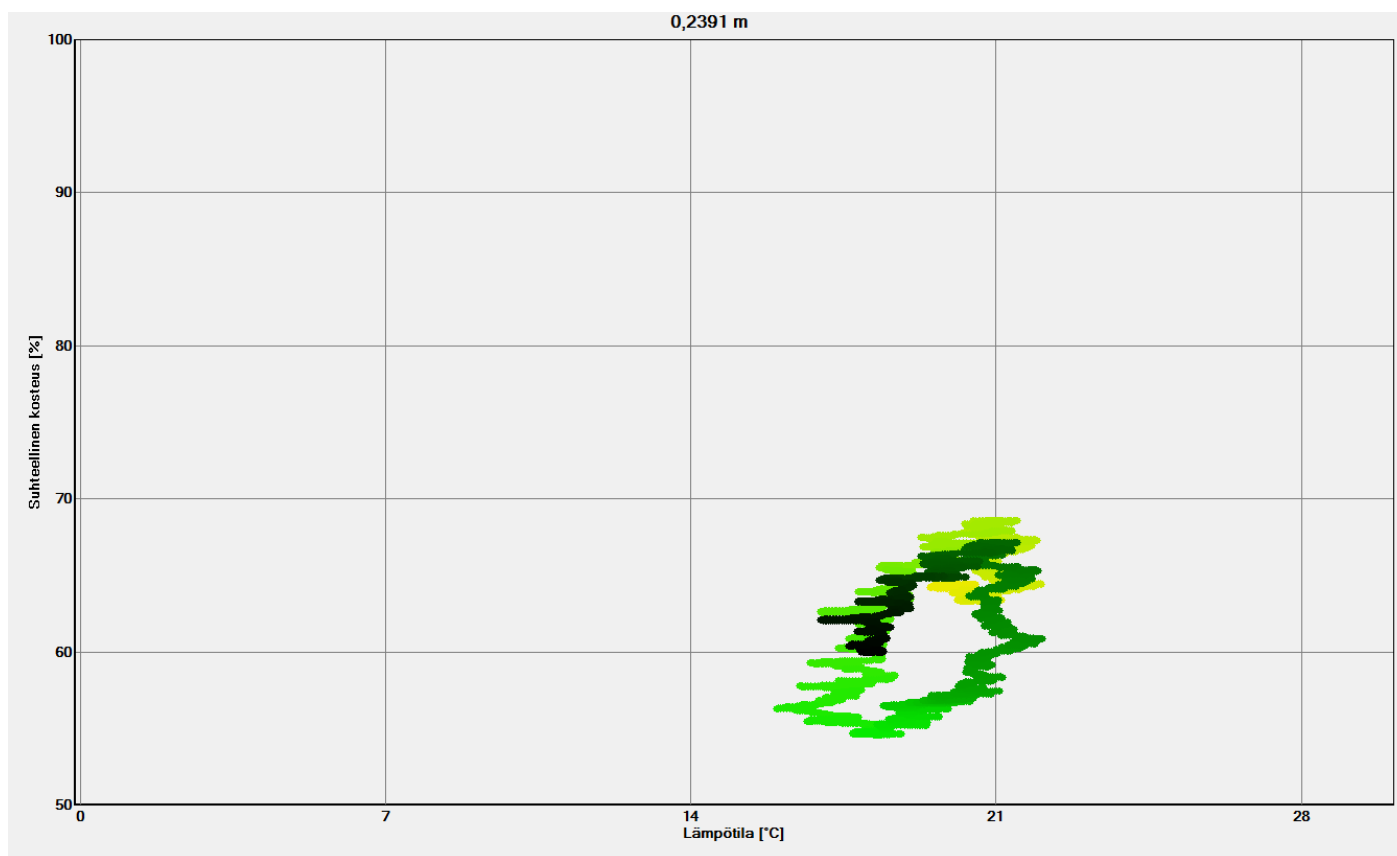
Sisäpinnan kosteus on alhaisimmillaan kylminä talvikuukausina.



kastepistelämpötila sisäpinta



2 cm:n syvyydessä kosteus vaihtelut on 10 %:n luokkaa.



Liite 3. Tapaus 3. Wufi-simulaatio CLT kokonaiskosteuden tasoittuminen

WUFI® Pro 5.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	20.3.2018 8:39:46
Laskennan kesto	2 min,41 s
Laskennan alku/loppu	1.6.2018 / 1.6.2040
Konvergoituvuuden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -5,75
Virrat s (kr,dr)	[kg/m²]	0,0 -5,9
Tase 1	[kg/m²]	0,16
Tase 2	[kg/m²]	0,16

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	12,48	12,62	12,38	12,99

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

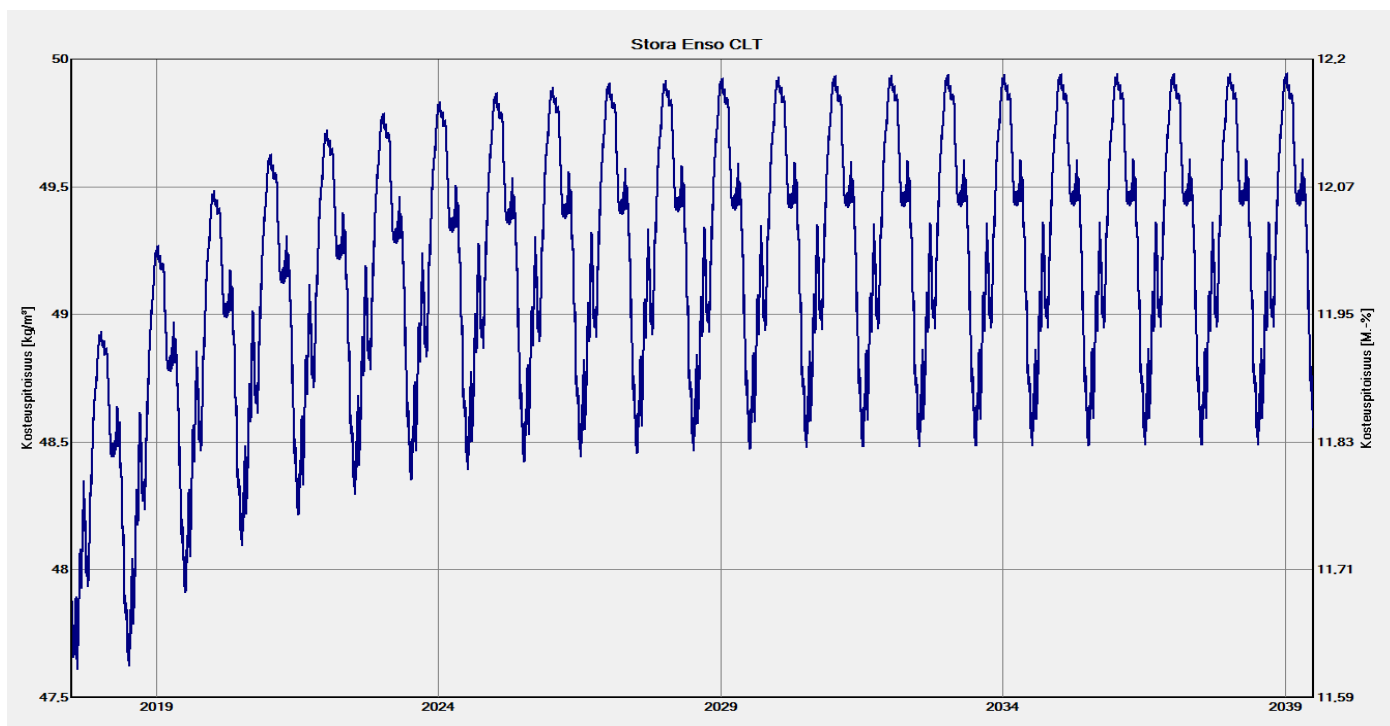
Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Stora Enso CLT	48,00	48,56	47,61	49,94

Virtojen aikaintegraali

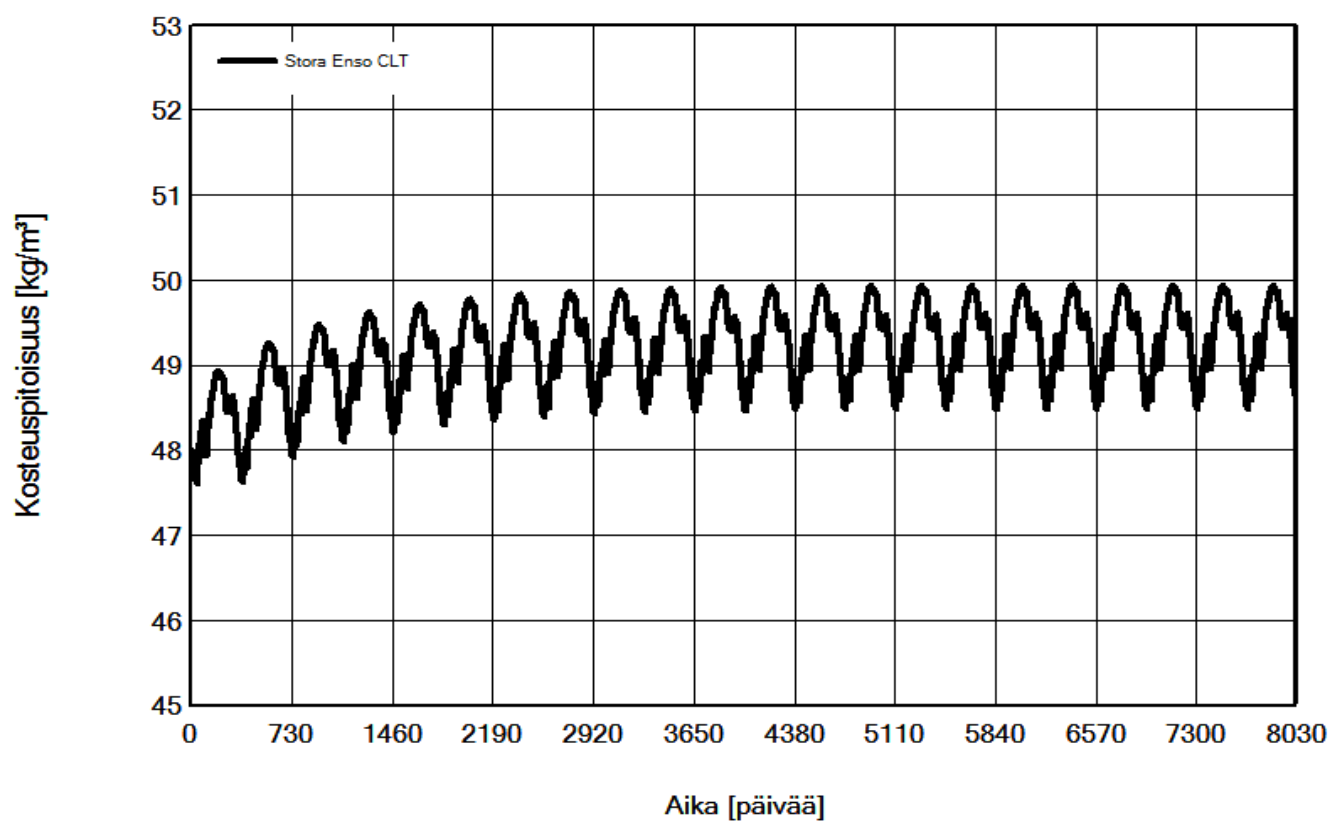
Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m²]	-3935,76
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m²]	-3938,2
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m²]	-5,76
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m²]	-5,9

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m²]	0,0



merkittävää nousua ei CLT:n kokonaiskosteuspitoisuudessa tapahdu, mutta vakiintuminen vie noin 10 vuotta. Huomioitavaa, että skaalaustarkkuus on prosentin tarkkuudella.



Kosteuden tasoittuminen tapahtuu noin 10 vuodessa.

Liite 4. Toimijoiden ja käyttäjien kokemuksia

Sähköpostikeskustelua Valmistajan Storaenson kanssa 2/2018

Ulkoseinärakenne?

- Suunnittelemassanne talossa on otettava huomioon, että näkyvien pintojenlaatu vaihtelee valmistaja kohtaisesti.
- Meidän CE-merkinnässä käyttöluokat 1 ja 2

Toimiiko rakenne lamellihirren tapaan?

- CLT on kovin samanlainen kuin lamellihirsi ominaisuuksiltaan.
- Painumaton ja ulkopinnassa harvemmin on näkyvissä sydänpuu.

Hintaan vaikuttavat tekijät?

- Kuutiohintaan vaikuttavat paksuus, mitä ohuempi niin sitä kalliimpi kuutiohintaa.
- Työstöt, pinnan hionta
- Elementtien sopivuus elementtiaihiolle (elementtien mitat)
- Kuljetuskustannukset:
 - o leveys max. 2450mm ja pituus max. 13m. mikäli yli 2450mm hinta nousee merkittävästi.
 - o Kuormien määrä vaikuttaa hintaan, CLT:tä yhteen kuormaan mahtuu noin 45 m³.

Markkinatilanne?

- Suomessa tehdään jo CLT-pientaloja ja kysyntä kasvaa koko ajan.

Juhani Lehtolan kanssa käytyä sähköposti keskustelua 3/2018

Lehtola on rakennuttanut talonsa Jyväskylään. Siinä on ulkoseinät CLT 240mm (Hoisko), ilman lisäeristystä ja välipohja on myös CLT:tä.

Kuinka kauan olette asuneet talossanne?

- Talo on valmistunut marraskuussa 2017 ja siitä lähtien ollaan asuttu siinä.

Onko seinäpintoihin tullut halkeamia?

- Aluksi seinäpinnoissa ei ollut juurikaan halkeamia. Kovien pakkasten aikaa talo paukkui paljon ja halkeamia tullut jonkin verran, mutta ei häiritsevästi.

Sisäpinnan käsittely?

- Paneeli ässä, oma seos missä on todella vähän pigmenttiä.

Ulkopinnan käsittely?

- valtti pohjuste ja vinha talomaali kahteen kertaan.

Viihtyvyys?

- Ollaan viihdytty tosi hyvin ja tyytyväisiä että valittiin CLT.

Mihin kiinnittäisitte huomiota, jos uudelleen rakentaisitte CLT:stä?

- Elementti suunnitteluun. CLT on jäätävä, siksi siitä pystyy tekemään siistejä ratkaisuja. Lähtisin kyllä uudestaanakin toteuttamaan CLT-hanketta. Nyt kun on oppinut tuntemaan materiaalin ominaisuuksia, niin saattaisin tehdä ihan erilaisenkin talon.

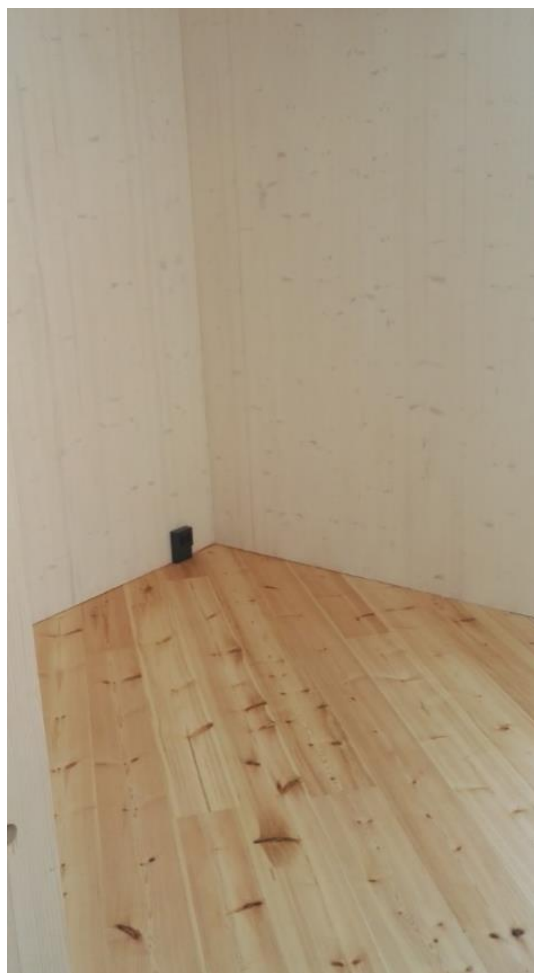
Fimma Oy 4/2018

Vierailimme Hannu Tuhkasen kanssa 5.4.2018 CLT-lomakotikohteella Tervossa. Lomakotikohteen suunnittelija ja toteuttaja on Fimma Oy. Ulkoseinät ovat CLT 180mm, myös alapohja, yläpohja ja väliseinät ovat CLT:tä.

Kiinnostukseni ennen työmaalle menoa oli CLT-seinien kosteuseläminen muun muassa ulkonäkö ja halkeilu. Rakennus oli pystytetty syksyllä eli ilman olosuhteiden vaihteluja on kerennyt olemaan.



Kuva 31. Ulkoseinä (Niskanen 2018)



Kuva 32. Sisäseinä (Niskanen 2018)

Sisäseinän päällimmäisen kerroksen lamellit olivat pelkästään lapeliimattuja. Seinän lamelleissa ei näkynyt halkeamia. Kosteuseläminen näkyy lamellin syrjässä eli kuivaan aikaan oletettavasti suurempi rako lamellien välissä, kun taas kosteampaan aikaan pienempi rako. Mielestämme pienet raot lamellien välissä eivät huononna seinän ulkonäköä, vaan päinvastoin tuovat eloa seinään. Kuvassa

tulevat lamellien väliset raot selvästi esille, mutta ovat varsin pieniä arviolta noin 1mm luokkaa. Rakennusfysikaalisesta näkökulmasta raot tuovat lisäpinta-alaa puun hygroskooppista ominaisuutta ajatellen (kuva 33).

Ulkoseinän ulkopinnassa lamellikerros on myös lapeliimattu halkeamia ja rakoja ei havaittavissa. Päättyä, että ulkoseinän uloin lamellikerros toimii samalla periaatteella kuin sisäseinän ulommainen lamellikerros (kuva 34).



Kuva 33. Sisäseinä (Niskanen 2018)



Kuva 34. Ulkoseinä (Niskanen 2018)

CLT-työmaalla käynti antoi vahvistusta teorian tietoihin ja omiin pohdintoihin. Materiaali näyttää paikan päältä vieläkin paremmalta kuin kuvissa mikä yllätti erityisen positiivisesti.

Suoritusasoilmoitus

CLT/2015/01

Asetuksen (EU) N:o 305/2011 mukainen

CLT – Cross Laminated Timber

1. **Tuotetyypin yksilöllinen tunnistenumero**
CLT – Cross Laminated Timber Eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ETA-14/0349 mukaan
2. **Käyttötarkoitus**
Tarkoitettu käytettäväksi rakennusten tai puurakennelmien kantavana, jäykistävänä tai myös ei-kantavana elementtinä. Materiaalia saa käyttää Eurokoodin 5 (EN 1995) mukaan vain sellaisissa rakennelmissa, joiden hyötykuormat ovat pääasiassa staattisia.
3. **Valmistaja**
Stora Enso Wood Products QY Ltd
Kanavaranta 1, 00160 Helsinki, Finland
4. **Valtuutetun edustajan nimi ja osoite**
Stora Enso Wood Products GmbH
Bahnhofstraße 31, 3370 Ybbs, Austria

Stora Enso Wood Products Bad St. Leonhard GmbH
Wisperndorf 4, 9462 Bad St. Leonhard, Austria
5. **Suoritusason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen**
Järjestelmä 1
6.

<p>a) <u>Yhdenmukaistettu standardi:</u> <u>Notifioitu laitos:</u></p> <p>b) <u>Eurooppalainen arviointiasiakirja:</u> <u>Eurooppalainen tekninen arviointi:</u> <u>Tekninen arviointilaitos:</u> <u>Notifioitu laitos:</u></p>	<p>ei sovelleta ei sovelleta</p> <p>Eurooppalainen arviointiasiakirja EAD 13005-000304 – Massiiviset puulevyt rakennusten kantaviin osiin*, päivitetty elokuussa 2014 ETA-14/0349, päivitetty 2.10.2014 Österreichisches Institut für Bautechnik, Schenkenstraße 4, 1010 Wien, Itävalta Holzforschung Austria 1359</p>
---	--
7. **Ilmoitetut suoritusason**

<p>Kerrosten lukumäärä</p> <p>Mitat</p> <p>Puulaji:</p> <p>Lajittelu:</p> <p>Liima-aine:</p> <p>Palokäyttäytyminen:</p> <p>Lämmönjohtavuus λ:</p> <p>Hyötyluokka:</p> <p>Ominaislämpö c_p:</p> <p>Vesihöyryn vastuskerroin μ:</p> <p>Kestävyyssluokka:</p> <p>Lujusluokka</p> <p>Suoja-aine luontaista tuhoutumista vastaan</p> <p>Vaarallisten aineiden päästöt ilmaan</p>	<p>$3 \leq n \leq 20$</p> <p>paksuus 42–350 mm, leveys < 3,00 m, pituus $\leq 16,50$ m</p> <p>WPPA (SPF)</p> <p>kuivalajiteltu</p> <p>PUR, tyyppi 1</p> <p>D-2s, d0</p> <p>0,13 W/mK</p> <p>1 ja 2</p> <p>1600 J/KgK</p> <p>20–50</p> <p>4</p> <p>C24 standardin EN 338 mukaan ($\geq 90\%$ C24 / $\leq 10\%$ C16)</p> <p>NPD</p> <p>NPD</p>
--	---

Suoritustasoilmoitus

CLT/2015/01

Asetuksen (EU) N:o 305/2011 mukainen

CLT – Cross Laminated Timber

8. Erityiset tekniset asiakirjat

Vaatus	Todistusmenetelmä	Arvo/standardi
Mekaaninen lujuus ja tukevuus		
1. Levyyn pystysuunnassa kohdistuvat mekaaniset kuormitukset		
Lamellien lujuusluokka	EN 338	C24
Kimmokerroin:		
• syiden suunnassa $E_{0,mean}$	EAD 130005-00-304, 2.2.1.2	12500 N/mm ²
• kohtisuorassa syitä vastaan $E_{90,mean}$	EN 338	standardin EN 338 mukaan
Liukukerroin:		
• syiden suunnassa G_{mean}	EN 338	standardin EN 338 mukaan
• kohtisuorassa syitä vastaan, syrjäillään $G_{90,mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1	50 N/mm ²
Taivutuslujuus:		
• syiden suunnassa syiden $f_{m,k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1	C24, $1/k_{90} + 26,4$ N/mm ² [1]
Vetolujuus:		
• syitä vastaan kohtisuorassa $f_{t,k}$	EN 338	0,12 N/mm ²
Puristuslujuus:		
• syitä vastaan kohtisuorassa $f_{c,90,k}$	EN 338	standardin EN 338 mukaan
Leikkauslujuus:		
• syitä vastaan kohtisuorassa $f_{v,90,k}$	EN 338	
• syitä vastaan kohtisuorassa (syrjäileikkauslujuus) $f_{v,90,k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3	kuusi: väh. (1,25; 1,45 – $t_w/100$) [2] mänty: väh. (1,70; 1,90 – $t_w/100$) [2]
Huomautukset: [1] $k_{90} = \max. \{1,0; 1,1 - 0,025 \cdot n\}$, (n = päälimmäisen kerroksen lautojen lukumäärä) [2] t_w = poikkileikkauksen poikittaisen kerroksen suurin paksuus		
2. Levytasoon kohdistuvat mekaaniset kuormitukset		
Lamellien lujuusluokka	EN 338	C24
Kimmokerroin:		
• syiden suunnassa $E_{0,mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1	12.500 N/mm ²
Liukukerroin:		
• syiden suunnassa $G_{90,mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3	460 N/mm ²
Taivutuslujuus:		
• syiden suunnassa $f_{m,k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1	standardin EN 338 mukaan
Vetolujuus:		
• syiden suunnassa $f_{t,0,k}$	EN 338	standardin EN 338 mukaan
Puristuslujuus:		
• syiden suunnassa $f_{c,0,k}$	EN 338	standardin EN 338 mukaan
Leikkauslujuus:		
• syiden suunnassa $f_{v,00,k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3	2,5 N/mm ²
3. Muut mekaaniset kuormitukset		
Virumisominaisuus ja kestävyys	EN 1995-1-1	
Mittapysyvyys	Käytön aikana kosteuspuutisuuden vaihtelut eivät saa olla niin suuria, että ne aiheuttaisivat haitallisia muodonmuutoksia.	
Kiinnitysaine	Ohjeistuksena on standardin EN 1995-1-1 mukaan päälimmäisen kerroksen syiden suunta.	

Edellä mainitun tuotteen suoritustasot vastaavat suoritustasoilmoituksessa annettuja tietoja. Tämä suositustasoilmoitus on laadittu asetuksen (EU) N:o 305/2011 mukaisesti, edellä ilmoitetun valmistajan yksinomaisella vastuulla.

Bad St. Leonhard, 03.03.2016

Ybbs, 03.03.2016

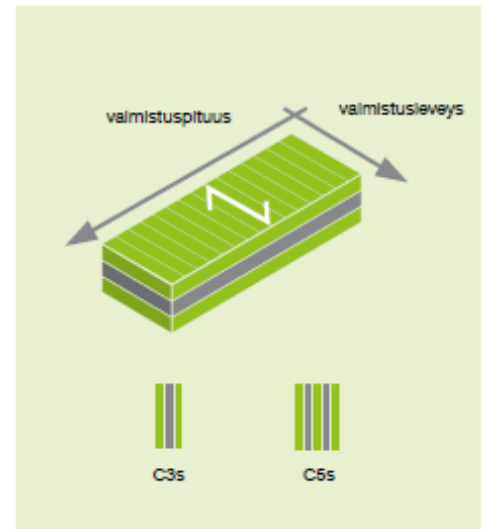

Hohegger Johann
(Mill Manager Bad St. Leonhard)


Faffelberger Erich
(Mill Manager Ybbs)

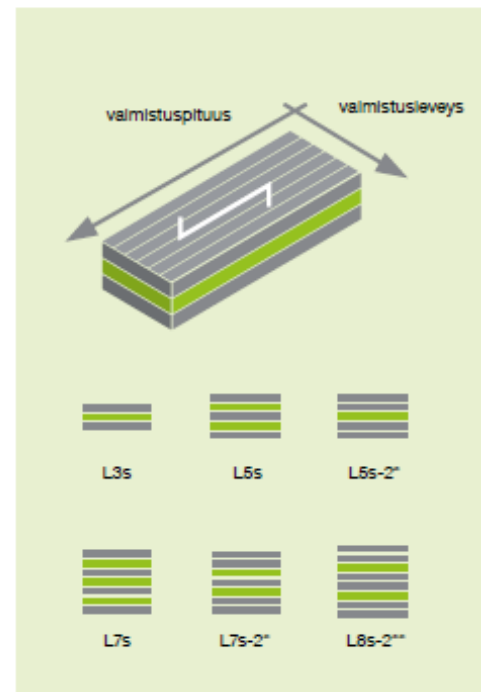


CLT:n vakiorakenteet

C-levyt									
Pääliimäisten kerrosten syysuunta on aina sama valmistuslevyden kanssa.									
Paksuus [mm]	Levytyyppi [–]	Kerroksia [–]	Kerrosrakenne [mm]						C***
			C***	L	C***	L	C***	L	
60	C3s	3	20	20	20				
80	C3s	3	20	40	20				
90	C3s	3	30	30	30				
100	C3s	3	30	40	30				
120	C3s	3	40	40	40				
100	C5s	5	20	20	20	20	20		
120	C5s	5	30	20	20	20	30		
140	C5s	5	40	20	20	20	40		
160	C5s	5	40	20	40	20	40		



L-levyt									
Pääliimäisten kerrosten syysuunta on aina vastakkainen valmistuslevyden kanssa.									
Paksuus [mm]	Levytyyppi [–]	Kerroksia [–]	Kerrosrakenne [mm]						L
			L	C	L	C	L	C	
60	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	20	40	20				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2"	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40	20
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2"	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2"	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2"	7	60	30	40	30	80		
280	L7s-2"	7	60	40	40	40	80		
300	L8s-2***	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2***	8	80	40	80	40	80		



* kaksi pintalamella on suunnattu jännevälin suuntaisesti (elementin pituussuuntaan)

** kaksi pintalamella ja keskilamellit on suunnattu jännevälin suuntaisesti (elementin pituussuuntaan)

*** C-levyissä hionnan suunta on suorassa kuimassa syihin nähden

Valmistuslevydet: 245 cm, 275 cm, 295 cm

Valmistuspituudet: elementin vähimmäiskoko 8,00 m, joka voi koostua yhdestä tai useammasta elementistä (10 cm välein)

HOISKO CLT levyn perustiedot

Rakenne	Ristiinliimattu 3 ... 10 kerrosta, Lamellipaksuudet 20 ... 60 mm, Reunaliimattu / ei reunaliimausta
Elementti	bulkkilevy , pienelementti , suurelementti tai tilaelementti
Leveys/pituus	Leveys max 3,5 m Pituus max 12 m
Paksuus	60 – 400 mm
Kosteus	12 % +/- 2 % toimitettaessa
Tilavuuspaino	470 kg/m ³ (havupuu 12 % kosteudessa)
Laatu / pinta	Lujuusluokiteltu puutavara (yleensä kuusi tai mänty) Pintavaihtoehdot: <ul style="list-style-type: none"> - Molemmin puolin näkyvä pinta - toinen puoli näkyvä pinta - näkyvä teollisuuspinta - ei näkyvä teollisuuspinta
Pinta /Näkyvä	Pintalamellit vaaka- tai pystysuuntaan, reunaliimattu, Pinta plaanattu tai hiottu
Pinta / Ei näkyvä	Pintalamellit vaaka- tai pystysuuntaan, ei reunaliimattu, sallitaan saumojen näkyminen, liimapurseet poistettu
Laskentaleveydet	Asiakkaan elementtien mukaisesti
Työstöt	CLT-levyihin työstöt mahdollisia CNC koneella CNC koneessa 5-akselinen työstöyksikkö, jolloin onnistuu lähes kaikki tarvittavat työstöt. Esim vinoporaukset yms
Liimaus	Formaldehyditon PUR-liima standardin EN 301 mukaan; päästöluokka E1
Mittamuutos	Puun 1 %-yksikön muutos => syyn pituussuunnassa: 0,020 % poikittaissuunnassa: 0,25 %
Lämmönjohtavuus	Lämmönjohtavuus Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 mukaisesti: $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ (kosteuspitoisuudessa 14 %)
Ääneneristys	Massiivipuulla on hyvä ääneneristävyys tiiviin rakenteen ansiosta
Palosuoja	Puu pintapaloluokka D, s2, d0 Palonsuojamaalilla B, s1, d0 Palomitoituksessa hiiltymisnopeus 1,00 mm/min
Diffuusiovastus	Kosteutta tasaava materiaali
Ilmanpitävyys	Reunaliimattuna ilmanpitävä 3-kerroksisesta rakenteesta lähtien
Käyttöluokat	Sallittu käyttöluokille 1 tai 2 standardin EN 1995-1-1 mu- kaan
Pintakäsittely	Erikseen sovittaessa
Hyväksynät	VTT:n tuotesertifikaatti

Liite 6. Hoisko

HOISKO CLT COMBINATIONS

18.8.2017

H-panels Surface lamella to the longitudinal direction											
Nominal thickness (mm)	Designation	Layers	H	V	H	V	H	V	H	V	H
60	H3	3	20	20	20						
70	H3	3	20	30	20						
80	H3	3	30	20	30						
90	H3	3	30	30	30						
100	H3	3	30	40	30						
110	H3	3	40	30	40						
120	H3	3	40	40	40						
140	H3	3	40	60	40						
100	H5	5	20	20	20	20	20				
120	H5	5	30	20	20	20	30				
140	H5	5	30	30	20	30	30				
150	H5	5	30	30	30	30	30				
160	H5	5	30	30	40	30	30				
180	H5	5	40	30	40	30	40				
200	H5	5	40	40	40	40	40				
200	H7	7	30	30	30	20	30	30	30		
210	H7	7	30	30	30	30	30	30	30		
220	H7	7	30	30	30	40	30	30	30		
240	H7	7	30	40	30	40	30	40	30		
260	H7	7	30	40	40	40	40	40	30		
280	H7	7	40	40	40	40	40	40	40		
160	H5-2 **	5	60	40	60						
200	H5-2 **	5	80	40	80						
210	H7-2 **	7	60	30	30	30	60				
220	H7-2 **	7	60	30	40	30	60				
240	H7-2 **	7	80	20	40	20	80				
260	H7-2 **	7	80	30	40	30	80				
280	H7-2 **	7	80	40	40	40	80				
280	H7-2 **	7	40	80	40	80	40				
300	H8-2 ***	8	80	30	80	30	80				
320	H8-2 ***	8	80	40	80	40	80				
400	H10-2 *	10	40	40	40	40	80	40	40	40	40

Recommended and standard products

Standard products

Available on the request

* Two parallel layers at the middle

** Two parallel layers at the surface

*** Two parallel layers at the surface and at the middle

http://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2017/08/HOISKO_CLT_combinations_H_8_2017.png
HOISKO CLT COMBINATIONS

1 (1)

18.8.2017

V-panels Surface lamella to the vertical direction									
Nominal thickness (mm)	Designation	Layers	V	H	V	H	V	H	V
60	V3	3	20	20	20				
70	V3	3	20	30	20				
80	V3	3	20	40	20				
90	V3	3	30	30	30				
100	V3	3	30	40	30				
110	V3	3	40	30	40				
120	V3	3	40	40	40				
140	V3	3	40	60	40				
100	V5	5	20	20	20	20	20		
120	V5	5	20	30	20	30	20		
140	V5	5	30	30	20	30	30		
150	V5	5	30	30	30	30	30		
160	V5	5	30	30	40	30	30		
180	V5	5	40	30	40	30	40		
200	V5	5	40	40	40	40	40		
240	V7	7	30	40	30	40	30	40	30
260	V7	7	30	40	40	40	40	40	30
280	V7	7	40	40	40	40	40	40	40

http://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2017/08/HOISKO_CLT_combinations_V_8_2017.png



Tuoteominaisuudet

Taulukko 1.



Alhe	Kohde	Tieto
Valmistusmaa	Suomi	Kuhmo
Hyväksynät	Tuotesertifikaatti CE-merkintä	VTT-C-11272-14 CLT-levyn CE-merkintä ei ole pakollista
Käyttötarkoitus	Rakennukset ja rakenteet	Rakenteellinen tai ei-rakenteellinen elementti
Käyttöolosuhde (EN 1995-1-1)	Käyttöluokka	1 ja 2
Lamelli	Raaka-aine Paksuus Leveys Pinnan laatu Lujuusluokka (EN 338)	Lujuuslajiteltu kuusi tai mänty 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm min 95 mm, kun paksuus 20 mm tai 30 mm min 120 mm, kun paksuus 40 mm min 150 mm, kun paksuus 50 mm min 180 mm, kun paksuus 60 mm Höylätty kaikilta sivuilta C 24
Sormijatkokset (prEN 16351:2013)	Pituussuuntaisissa lamelleissa Poikittaissuuntaisissa lamelleissa Sormijatkoksen lujuus	Kyllä Ei ole (poikittaissuuntaisten lamellien sormijatkaminen on sallittua, kun levyn kuormitus on pituussuuntaisten lamellien suuntaan) $f_{m,jk} \geq 8 + 1,4 f_{t,0,jk}$
Liimatyypit	Sormijatkoksissa Lamellin lapeliimauksessa	PURBOND HB 530 PURBOND HB S-line
Lamellin liimaus	Lapeliimaus Syrjaliimaus Risteävien lamellien välinen kulma Delamiointuminen	Kyllä Ei 90° Täyttää prEN 16351:2013 vaatimuksen
Valmistusmitat	Leveys Pituus Paksuus Paksuus	max 3200 mm max 12000 mm min 60 mm max 300 mm
Valmistustarkkuus	Paksuus Leveys Pituus	± 1,0 mm ± 3,0 mm ± 3,0 mm
Levyn pinta	Laatu Rako rinnakkaisten lamellien välissä	Höylätty max 2,0 mm joka toisessa saumassa max 5,0 mm 10 % saumoista
Palokäyttäytyminen	Pinnan paloluokka Hiiltymisnopeus	D-s2, d0 $\beta_0 = 1,0 \text{ mm/min}$
Kosteuspitoisuus (EN 13183-3)	Tehtaalla	6...15 %
Emissiot (EN 13986)	Formaldehydi	E1
Tilavuuspaino	Rakennelaskelmissa	5,0 kN/m³

CROSSLAM-LEVYN RAKENNETAULUKKO

C-levyt

koodi	paksuus		kerroksia	C	L	C	L	C	L	C
	mm									
C3-60-20	60		3	20	20	20				
C3-70-20	70		3	20	30	20				
C3-80-20	80		3	20	40	20				
C3-80-30	80		3	30	20	30				
C3-90-20	90		3	20	50	20				
C3-90-30	90		3	30	30	30				
C3-100-30	100		3	30	40	30				
C3-100-40	100		3	40	20	40				
C3-110-30	110		3	30	50	30				
C3-120-40	120		3	40	40	40				
C3-130-50	130		3	40	30	50				
C3-140-50	140		3	50	40	50				
C3-160-60	160		3	60	40	60				
										
C5-100-20	100		5	20	20	20	20	20		
C5-120-20	120		5	20	30	20	30	20		
C5-130-30	130		5	30	20	30	20	30		
C5-150-30	150		5	30	30	30	30	30		
C5-160-40	160		5	40	20	40	20	40		
C5-180-40	180		5	40	30	40	30	40		
C5-200-40	200		5	40	40	40	40	40		
C5-220-60	220		5	60	20	60	20	60		
C5-240-40	240		5	40	60	40	60	40		
										
C7-140-20	140		7	20	20	20	20	20	20	20
C7-180-30	180		7	30	20	30	20	30	20	30
C7-200-20	200		7	20	40	20	40	20	40	20
C7-220-40	220		7	40	20	40	20	40	20	40
C7-240-30	240		7	30	40	30	40	30	40	30
C7-260-50	260		7	50	20	50	20	50	20	50
C7-300-60	300		7	60	20	60	20	60	20	60

L-levyt

koodi	paksuus		kerroksia	L	C	L	C	L	C	L
	mm									
L3-60-20	60		3	20	20	20				
L3-70-20	70		3	20	30	20				
L3-80-20	80		3	20	40	20				
L3-80-30	80		3	30	20	30				
L3-90-20	90		3	20	50	20				
L3-90-30	90		3	30	30	30				
L3-100-30	100		3	30	40	30				
L3-100-40	100		3	40	20	40				
L3-110-30	110		3	30	50	30				
L3-120-40	120		3	40	40	40				
L3-130-50	130		3	40	30	50				
L3-140-50	140		3	50	40	50				
L3-160-60	160		3	60	40	60				
										
L5-100-20	100		5	20	20	20	20	20		
L5-120-20	120		5	20	30	20	30	20		
L5-130-30	130		5	30	20	30	20	30		
L5-150-30	150		5	30	30	30	30	30		
L5-160-40	160		5	40	20	40	20	40		
L5-180-40	180		5	40	30	40	30	40		
L5-200-40	200		5	40	40	40	40	40		
L5-220-60	220		5	60	20	60	20	60		
L5-240-40	240		5	40	60	40	60	40		
										
L7-140-20	140		7	20	20	20	20	20	20	20
L7-180-30	180		7	30	20	30	20	30	20	30
L7-200-20	200		7	20	40	20	40	20	40	20
L7-220-40	220		7	40	20	40	20	40	20	40
L7-240-30	240		7	30	40	30	40	30	40	30
L7-260-50	260		7	50	20	50	20	50	20	50
L7-300-60	300		7	60	20	60	20	60	20	60

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. | Kivikatu 4, 88900 Kuhmo, Finland | Tel. +358 9 4282 7440 | www.crosslam.fi

Liite 1: Lappia CLT:n tuotekuvaus

Ominaisuus	Yksikkö	Tulos tai arvo
<i>Lappia CLT massiivipuulaatta</i>		
Käyttötarkoitus		Rakennukset ja rakenteet
Suunnitteluperusteet		Eurokoodien EN 1990 ja 1995 sekä SFS-EN 1995 mukaisesti
Käyttöolosuhde (EN 1995-1-1)	Luokka	1 ja 2
Paksuus, toleranssi +/- 1 mm	mm	45-280 mm
Leveys, toleranssi +/- 3 mm	mm	max 3200 mm
Pituus, toleranssi +/- 3 mm	mm	max 8000 mm
Kerrosten lukumäärä, symmetrinen ladonta	kpl	3, 5
Palokäyttäytyminen	Luokka	D-s2, d0
Palonkestävyys, EN 1995-1-2		Hiiltymisnopeus $\beta_0 = 1,0$ mm/min
Tuotteen kosteuspitoisuus, EN 13183-3	%	6-15
Formaldehydin vapautuminen, EN 13986		Ei
<i>Lamellit</i>		
Raaka-aine		Lujuuslajiteltu kuusi tai mänty
Paksuus t	mm	15-40 mm
Leveys	mm	$\geq (80,3t)$
Rako rinnakkaisten lautojen välissä Puun kosteus ≥ 10 % - joka saumassa - 10% saumoista Puun kosteus < 10 %	mm	max 2 mm max 5 mm max. 5 mm
Lamellien lujuusluokka, EN 338		C24, EN 1995-1-1 mukaisesti
Sormijatkokset, prEN 16351:2013, vain pituussuuntaisissa lamelleissa - Delaminoituminen, liima PURBOND HB S-line	N/mm ²	$F_{m,j,k} \geq 8 + 1,4 f_{t,0,l,k}$ (sahatavaran valmistajan sertifiointin mukaisesti) Täyttää prEN 16351:2013 vaatimuksen

Mikäli CLT-levy jää näkyväksi pinnaksi, on se mainittava tilauksen yhteydessä.

Lappia CLT:n tuoteluettelo

Levytyyppi	Lamellien paksuudet	Max. levykoko	Paino 500 kg/m ³	Max. paino	U-arvo vain levy	Käyttö**	Huom!
Tunnus*	[mm]	[mm] LxB	[kg/m ²]	[kg]	[W/m ² K]		
L3-45	15/15/15	2700x2700	22,5	165	1,74	X	ei sertifioitu
L3-60	20/20/20	4800x3200	30,0	490	1,43	X	
C3-60	20/20/20	3200x4800	30,0	490	1,43	S X	
L3-80	30/20/30	8000x3200	40,0	620	1,15	U S A V Y X	
C3-80	20/40/20	3200x8000	40,0	620	1,15	U S P X	
C3-90	30/30/30	3200x8000	45,0	1150	1,05	U S P	
L3-100	40/20/40	8000x3200	50,0	1280	0,95	A V Y	
C3-100	30/40/30	3200x8000	50,0	1280	0,95	U S P	
L5-100	20/20/20/20/20	4800x3200	50,0	820	0,95	U P A Y	
L3-120	40/40/40	8000x3200	60,0	1540	0,83	U S P A V Y	
C3-120	40/40/40	3200x8000	60,0	1540	0,83	U S P A V Y	
L5-140	40/20/20/20/40	4800x3200	58,5	955	0,73	U S A V Y	
C5-150	30/30/30/30/30	3200x8000	75,0	1920	0,69	U S P	
L5-160	40/20/40/20/40	8000x3200	80,0	2050	0,65	A V Y	
C5-180	40/30/40/30/40	3200x8000	90,0	2300	0,59	U S P	
L5-180	40/30/40/30/40	8000x3200	90,0	2300	0,59	U S A V Y	
L7-190	60/20/30/20/60	8000x3200	95,0	2430	0,56	A V Y	uloimmat lamellit 2x30
L5-200	40/40/40/40/40	8000x3200	100,0	2560	0,54	U S P	
L7-230	80/20/30/20/80	8000x3200	115,0	2945	0,47	A V Y	uloimmat lamellit 2x40
L8-280	80/20/80/20/80	8000x3200	140,0	3585	0,39	A V Y	pitkittäislamellit 2x40

* L=uloimmat lamellit vaakaan / pitkittäin, C=uloimmat lamellit pystyyn / poikittain; 3...8=lamellien lukumäärä, 45...280=levyn paksuus

** U=ulkoseinä, S=kantava väliseinä, P=seinän aukkopalkki, A=alapohja, V=välipohja, Y=yläpohja, X=ei rakenteellinen käyttö / ulkorakenne

Martti Mylly, 19.1.2016

<http://www.lappia.fi/koulutusalat-lappia/clt-lappia/Documents/Tuoteluettelo,%20CLT%20Lappia.pdf>

Liite 9. Puuinfo

CLT elementtien käyttö on hyvin suosittua Keski-Euroopassa, missä käyttäjät ovat tottuneet massiivisiin rakenteisiin. Seuraavassa taulukko on kuvattu CLT -levyn keskeiset rakenteelliset ominaisuudet

Ominaisuus	Arvot	Mittausperuste
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Seinä-, lattia- ja kattorakenteet eri käyttötarkoituksissa rakennuksissa (asuin- ja työpaikkarakennukset, julkiset rakennukset yms.)	
Enimmäisleveys	2,95 m	
Enimmäispituus	16,00 m	
Enimmäispaksuus	400 mm	
Vakiopaksuudet	Tarkistettava valmistajalta	
Kerrosrakenne	Ristiin laminoitu, liimattu	
Puulaatu	Kuusi (muiden puulajien saatavuus varmistettava valmistajalta)	
Lujuusluokka	C24	Rakenteellisen mitoituksen las- kenta-arvo
Kosteuspitoisuus	12 % +/- 2 %	
Liimatyyppi	Formaldehydivapaa PUR liima	
Pintalaatu	Teollisesti hiottu	
Visuaalinen laatuluokka	C tai A/B	EN 13701-1, taulukko 1
Paino	5,0 kN/m ³	Rakenteellisen mitoituksen las- kenta-arvo
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn suunnassa	0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn paksuudessa	0,24 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Paloluokka (reaction to fire)	D-s2, d0	Komission päätös 2003/43/EC
Palonkesto (resistance to fire)	Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min	EN 1995-1-2
Kosteuden läpäisevyys	20...50	EN 12524
Lämmönjohtavuus (lambda)	0,11 W/(mK)	EN 12524
Lämpökapasiteetti	1600 J/(kgK)	EN 12524
Ilmatiiviys	Käytännössä tiivis (Effectively airtight)	EN 12114
Käyttöluokka (Service class)	1 ja 2	EN 1995-1-1

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>



PURBOND® HB S109

Single-component polyurethane adhesive for the manufacture of engineered wood products

PURBOND HB S109_E
Purbond Technik / 06-2013

Properties

PURBOND HB S109 is a liquid single-component polyurethane adhesive. The adhesive cures under the action of air humidity and moisture in the wood to yield a strong non-brittle film. Slight foaming of the adhesive during hardening is caused by the chemical reaction and is normal. PURBOND HB S109 is manufactured without the addition of solvents or formaldehyde.

PURBOND HB S109 is classified as a Type I adhesive and is approved and registered according to Page 4 of this data sheet (Section headed Certifications and Registrations).

This technical data sheet was co-ordinated with Stuttgart University MPA, an independent material testing laboratory.

Product data

Basis	Isocyanate prepolymer
Consistency	Good flow properties
Assembly time ¹	10 minutes
Press time / curing time ¹	25 minutes
Brookfield viscosity	Approx. 24,000 mPa.s (Sp.6 / 20 rpm / 20°C, measurement between 16 to 36 hours after production)
Colour shade	Beige
Density	1,160 kg/m ³
Solids content	100% and free from fibres and abrasive fillers
Fire hazard	Flame resistant
Resistance	To weak alkalis, acids and solvents
Declaration	The Safety Data Sheet (MSDS) for PURBOND HB S109 must be observed and is available at www.purbond.com .

¹ Detailed information about assembly time and press time / curing time can be found on pages 2 and 3.